

# **AVALIAÇÃO DO POTENCIAL PARA REUTILIZAÇÃO DOS EFLUENTES TRATADOS NAS ETAR DO CONCELHO DE VALONGO**

**VERSÃO FINAL**

**JOÃO FILIPE MACHADO PINTO**

Dissertação submetida para conclusão do  
**MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA DO AMBIENTE**

---

Presidente do Júri: Professor Manuel Fonseca de Almeida

Orientador da FEUP: Doutor Chia-Yau Cheng

Orientadora da Empresa: Doutora Paula Moreira Figueiredo

JULHO DE 2009

## **MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA DO AMBIENTE 2008/2009**

*Editado por*

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440



[feup@fe.up.pt](mailto:feup@fe.up.pt)



<http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente - 2008/2009 - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2009*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

*Creio que só há um caminho para a ciência: encontrar um problema, descobrir a sua beleza,  
e apaixonar-se por ele; casar com ele e viver feliz até que a morte nos separe –  
a não ser que se encontre a solução.*

*Karl Popper*



## AGRADECIMENTOS

Ao Professor Chia-Yau Cheng, orientador da FEUP, pela orientação e ensinamentos prestados, disponibilidade, apoio, incentivo e amizade demonstrada, tornando o trabalho desenvolvido muito gratificante.

À Dra. Paula Moreira, orientadora das Águas de Valongo, S. A., pela sua disponibilidade no esclarecimento de dúvidas e na disponibilização dos dados e documentos essenciais para a caracterização da ETAR de Campo e de Ermesinde.

Às Eng.<sup>a</sup> Marília Oliveira e Eng.<sup>a</sup> Rute Neves pelo esclarecimento de dúvidas, disponibilidade e cedência de dados referentes aos consumos de água provenientes da rega de espaços verdes na Freguesia de Ermesinde.

Ao Dr. Luís Santos e Sr. António Cunha, empresa Elefante Azul e Auto-Jacto, respectivamente, pelas informações de extrema relevância sobre a afluência de veículos, e aspectos sobre a exploração e manutenção de um centro de lavagem de veículos.

À Eng.<sup>a</sup> Patrícia Alves, do Laboratório de Engenharia Sanitária da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, por todos os ensinamentos prestados e pela ajuda na realização dos ensaios laboratoriais.

À Eng.<sup>a</sup> Ana Lopes, da ETAR do Freixo, pela disponibilidade e pela cedência da água desinfetada essencial para a melhoria do meu trabalho.

À Dra. Helena Marecos pelos ensinamentos prestados, bibliografia facultada e opiniões sobre os processos de tratamento adicionais para as águas residuais com vista à sua reutilização.

Ao Professor Paulo Monteiro e Eng.<sup>a</sup> Cristina Silva pelos ensinamentos prestados, pela disponibilidade demonstrada ao longo de todo o trabalho.

Sendo este um trabalho realizado na ETAR de Campo, não posso deixar de agradecer a todos os seus colaboradores, pela simpatia, atenção e colaboração prestada.

Aos meus pais, que de muito abdicaram para que eu pudesse chegar até aqui, por acreditarem em mim, pelo incentivo, apoio e compreensão.

Aos meus amigos, em especial à Inês, pela compreensão, amizade e apoio incondicional.



## RESUMO

A crescente preocupação relativamente à escassez de água, aliada ao aumento das exigências dos requisitos de licenciamento de descarga dos efluentes nos meios receptores, conduz à necessidade de uma urgente reflexão sobre as aplicações actuais da água.

A reutilização das águas residuais assume-se, neste contexto, como uma solução que promove a gestão efectiva dos recursos hídricos e, que deverá ser concretizada tendo em vista a garantia da sustentabilidade económica, técnica, social e ambiental dos investimentos inerentes ao tratamento adicional necessário para compatibilizar a qualidade do efluente com os usos previstos.

Contudo, verificando-se que a maioria dos efluentes tratados nas Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) são descarregados nos meios receptores, sem qualquer tipo de aproveitamento, este trabalho pretende contribuir com uma perspectiva integrada de carácter municipal, envolvendo duas categorias de reutilização das águas residuais: a rega de espaços verdes e a lavagem de veículos.

A metodologia proposta permite uma caracterização efectiva da oferta e da procura de água, aplicada aos dois estudos de caso, tendo-se de seguida procedido ao cruzamento desta informação de modo a analisar a sua viabilidade técnica e económica.

Perante os resultados obtidos, pode-se afirmar que o estudo relativo ao Parque Urbano de Ermesinde não apresenta vantagens em termos económicos, sendo necessário considerar outros factores, como os benefícios ambientais, para que a sua aplicação seja considerada viável. Relativamente, ao estudo de caso referente à lavagem de veículos, sugere-se à empresa Águas de Valongo, S.A., a implementação de um centro de lavagem de veículos, na região de Campo. Esta opção, implica um investimento inicial de cerca de 870.000€ e apresenta um período de recuperação do investimento de aproximadamente 8 anos, tornando-se, assim, numa fonte de rendimentos a curto prazo.

No entanto, em termos ambientais e de protecção da saúde pública apenas se referiram as linhas de orientação sobre o nível de qualidade da água exigido, sugerindo-se, para trabalhos futuros, estudos práticos, que permitam a monitorização de parâmetros-chave essenciais para o bom desempenho de um projecto desta natureza.

**PALAVRAS-CHAVE:** Águas residuais tratadas, desinfecção, reutilização, rega de espaços verdes, lavagem de veículos





## ABSTRACT

The increasing concerns about water scarcity as well as the more demanding requisites for water discharge permit have brought about the need of an urgent reflection upon the current uses of water.

The wastewater reuse should be, therefore, perceived as a solution for an effective management of hydric resources in order to ensure the economic, technical, social and environmental sustainability of investments related to the additional treatment required to match the effluent's quality with its foreseen uses.

Nevertheless, since the majority of the effluents treated in Wastewater Treatment Plant - WWTP are discharged with no prospects of being adequately reused, this research study aims at providing an integrated perspective on two types of wastewater reuse at a municipality level: green areas irrigation and use of water for car wash.

The methodology presented in this work has made it possible to characterize effectively water supply and demand in two case studies. The information obtained was then compared to analyze its technical and economic feasibility.

Taking into account the results of this research study, it can be argued that the case study on the Parque Urbano of Ermesinde shows that this one is not economically attractive and therefore viable unless other factors such as its environmental benefits are given due attention. As far as the study on the wastewater reuse for car wash is concerned, the company Águas de Valongo, S.A., should consider the possibility for the creation of a car wash centre in the region of Campo. This option, which would require an initial investment of around € 870.000 (it is expected that the breakeven point will occur in approximately 8 years), can become a source of income in a short term.

It is, however, important to mention that, in terms of environmental as well as public health protection aspects, this study only provides general orientation about the required level of quality water. Therefore, in the future, practical research studies should draw particular attention to the importance of monitoring performance parameters in this kind of projects.

**KEYWORDS:** Treated wastewater, disinfection, reuse, green areas irrigation, car wash.



## ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS .....	iii
RESUMO.....	v
ABSTRACT .....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xiii
ÍNDICE DE TABELAS.....	xv
SÍMBOLOS E ABREVIATURAS.....	xix
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. MOTIVAÇÃO E OBJECTIVOS.....</b>	<b>5</b>
<b>3. REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS .....</b>	<b>7</b>
3.1    CONCEITOS E DEFINIÇÕES.....	7
3.2    RECURSOS HÍDRICOS E O USO DA ÁGUA.....	8
3.2.1 <i>Crescimento Populacional</i> .....	9
3.2.2 <i>Alterações Climáticas</i> .....	10
3.2.3 <i>Poluição dos Meios Hídricos</i> .....	10
3.2.4 <i>Extracção de Água Subterrânea</i> .....	11
3.3    ENQUADRAMENTO LEGAL E INSTITUCIONAL .....	11
3.4    PERSPECTIVA MUNDIAL NA UTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS.....	14
3.4.1 <i>Europa</i> .....	14
3.4.2 <i>América</i> .....	16
3.4.3 <i>Ásia</i> .....	18
3.4.4 <i>Austrália</i> .....	19
3.4.5 <i>África</i> .....	19

<b>4. CATEGORIAS DE APLICAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS TRATADAS .....</b>	<b>21</b>
4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	21
4.2 REGA DE ESPAÇOS VERDES.....	23
4.2.1 <i>Qualidade das Águas Residuais Tratadas para Rega</i> .....	23
4.2.1.1 Características Físico-Químicas e Microbiológicas .....	23
4.2.1.2 Métodos, Processos e Tipos de Rega.....	24
4.2.2 <i>Características da Área a Regar</i> .....	24
4.2.2.1 Características Físico-Químicas do Solo .....	24
4.2.2.2 Afastamento em Relação a Zonas Habitacionais e Origens da Água .....	25
4.2.2.3 Culturas Susceptíveis de Utilização .....	26
4.2.3 <i>Minimização dos Impactes Ambientais e dos Riscos para a Saúde Pública</i> .....	27
4.2.4 <i>Controlo e Monitorização</i> .....	27
4.2.4.1 Controlo da Instalação .....	27
4.2.4.2 Monitorização.....	28
4.3 LAVAGEM DE VEÍCULOS .....	29
4.3.1 <i>Tipos de Sistemas de Lavagem de Veículos</i> .....	30
4.3.2 <i>Tipos de tratamento Complementar</i> .....	31
4.3.3 <i>Produtos de Limpeza Usados na Lavagem de Veículos</i> .....	33
4.3.4 <i>Tecnologias de Tratamento do Efluente Gerado</i> .....	33
<b>5. PROCEDIMENTOS TÉCNICOS.....</b>	<b>37</b>
5.1 PROCESSOS ADICIONAIS DE TRATAMENTO .....	37
5.1.1 <i>Processos de Filtração por Membrana</i> .....	38
5.1.2 <i>Processos de Desinfecção</i> .....	38
5.1.2.1 Cloragem.....	39
5.1.2.2 Ozonização.....	40
5.1.2.3 Radiação Ultravioleta.....	41
5.1.2.4 Lagoas de Maturação .....	42
5.1.3 <i>Membrana Bio-Reactor</i> .....	43
5.2 DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA RESIDUAL TRATADA .....	45
5.2.1 <i>Armazenamento</i> .....	48
5.2.2 <i>Sistema Hidráulico</i> .....	50

<b>6. ESTUDOS DE CASO.....</b>	<b>53</b>
6.1 POTENCIAL DE REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS TRATADAS PARA REGA NA REGIÃO DE ERMESINDE.....	53
6.1.1 <i>Oferta: Caracterização da ETAR de Ermesinde</i> .....	54
6.1.1.1 Caracterização Qualitativa dos Efluentes Produzidos.....	54
6.1.1.2 Caracterização Quantitativa dos Efluentes Produzidos .....	55
6.1.1.3 Proposta de Intervenção para Optimização do Processo de Tratamento.....	58
6.1.2 <i>Procura: Espaços Verdes</i> .....	58
6.1.2.1 Estimativa dos Consumos de Água .....	58
6.1.2.2 Caracterização das Origens de Água Disponível para Rega .....	61
6.1.2.3 Caracterização da Flora do Parque Urbano .....	61
6.1.3 <i>Cruzamento entre a Procura e a Oferta</i> .....	61
6.1.3.1 Cruzamento entre as Disponibilidades e as Necessidades de Água .....	61
6.1.3.2 Armazenamento da Água Residual Tratada.....	62
6.1.3.3 Transporte da Água Residual Tratada .....	64
6.1.3.4 Soluções de Tratamento.....	66
6.1.3.5 Plano de Gestão da Rega do Parque Urbano .....	72
6.1.3.6 Controlo da Instalação.....	74
6.1.3.7 Monitorização .....	76
6.1.4 <i>Avaliação Económica</i> .....	76
6.1.4.1 Estimativa dos Custos de Investimento .....	77
6.1.4.2 Estimativa dos Custos de Exploração .....	78
6.1.4.3 Estimativa dos Custos Totais Actualizados .....	80
6.1.5 <i>Discussão dos Resultados</i> .....	81
6.2 POTENCIAL DE REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS TRATADAS PARA LAVAGEM DE VEÍCULOS NA REGIÃO DE CAMPO .....	83
6.2.1 <i>Oferta: Caracterização da ETAR de Campo</i> .....	84
6.2.1.1 Localização da ETAR e Requisitos do Efluente Final.....	87
6.2.1.2 Enquadramento Legal .....	88
6.2.1.3 Identificação das Limitações Existentes à Reutilização de Água Residual .....	89
6.2.1.4 Proposta de Intervenção para Optimização do Processo de Tratamento.....	89
6.2.2 <i>Procura: Sistema de Lavagem de Veículos</i> .....	89
6.2.2.1 Estimativa dos Consumos de Água .....	89
6.2.3 <i>Cruzamento entre a Procura e a Oferta</i> .....	92
6.2.3.1 Armazenamento da Água Residual.....	92
6.2.3.2 Soluções de Tratamento Propostas .....	93
6.2.3.3 Proposta de Localização e Transporte das Águas Residuais .....	94
6.2.3.4 Experiência Piloto.....	97
6.2.3.5 Sinalização e Medidas de Segurança .....	99
6.2.3.6 Monitorização .....	99

6.2.3.7	Conservação e Manutenção .....	100
6.2.4	<i>Avaliação Económica</i> .....	101
6.2.4.1	Estimativa dos Custos de Exploração .....	102
6.2.4.2	Estimativa dos Custos Totais Actualizados .....	102
6.2.5	<i>Discussão dos Resultados</i> .....	104
<b>7.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>107</b>
<b>8.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>109</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>A1</b>	
ANEXO A .....	A3	
ANEXO B .....	A7	
ANEXO C .....	A13	
ANEXO D .....	A23	
ANEXO E .....	A31	
ANEXO F .....	A43	

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Índice de stress hídrico verificado para os países Europeus (EUWI, 2007).	2
<b>Figura 2</b> - Disponibilidade de água doce mundial em 1995 (Alcamo et al, 2000).	8
<b>Figura 3</b> - Estimativa do crescimento populacional até 2050.	9
<b>Figura 4</b> - Aplicações por sectores da água residual tratada na Europa (AQUAREC, 2006).	16
<b>Figura 5</b> - Comparação da percentagem de utilização água residual tratada nos países da Califórnia e Japão (Adaptado AQUAREC, 2006).	17
<b>Figura 6</b> - Exemplos de processos de rega, do lado esquerdo encontra-se representada rega gota-a-gota e do lado direito a rega por aspersão.	24
<b>Figura 7</b> - Lavagem de veículos tipo Pórtico.	30
<b>Figura 8</b> - Lavagem de veículos tipo Túnel.	30
<b>Figura 9</b> - Lavagem manual de veículos.	31
<b>Figura 10</b> - Sistemas de processos membrana (Till & Mallia, 2001).	32
<b>Figura 11</b> - Representação esquemática de um “sistema de lavagem de veículos com recirculação”.	33
<b>Figura 12</b> - Representação esquemática de um “sistema de lavagem de veículos sem recirculação”.	34
<b>Figura 13</b> - Demonstração de um separador de hidrocarbonetos pré-fabricado (secção do lado direito) com decantador incorporado (secção do lado esquerdo).	35
<b>Figura 14</b> - Sistemas de processos membrana (Till & Mallia, 2001).	38
<b>Figura 15</b> - Cloragem a “breakpoint”.	39
<b>Figura 16</b> - Equipamento utilizado para a produção de ozono (SCVWD, 2002).	41
<b>Figura 17</b> - Demonstração de um canal de desinfecção por UV.	42
<b>Figura 18</b> - Representação gráfica das lagoas de maturação.	43
<b>Figura 19</b> - Representação gráfica do princípio do funcionamento da tecnologia MBR.	44
<b>Figura 20</b> - Identificação da tubagem para reutilização de águas residuais tratadas.	46
<b>Figura 21</b> - Letreiro indicativo da utilização de água residual tratada num parque em Madrid.	46
<b>Figura 22</b> - Representação de uma caixa de válvulas utilizadas para rega de espaços verdes em Madrid.	47
<b>Figura 23</b> - Localização da ETAR de Ermesinde.	54
<b>Figura 24</b> - Fluxograma do esquema de tratamento existente na ETAR de Ermesinde.	57
<b>Figura 25</b> - Fotografias tiradas no Parque Urbano indicando uma elevada vegetação.	61
<b>Figura 26</b> - Fotografia do lago artificial existente no Parque Urbano.	64
<b>Figura 27</b> - Exemplo de uma bomba centrífuga Horizontal.	66
<b>Figura 28</b> - Solução de tratamento complementar proposta para a alternativa I.	67
<b>Figura 29</b> - Sistema de Desinfecção por UV em canal fechado.	68
<b>Figura 30</b> - Solução de tratamento complementar proposta para a Alternativa II.	69
<b>Figura 31</b> - Fotografias de duas zonas que limitam a divisão entre o interior e o exterior do Parque Urbano.	73
<b>Figura 32</b> - Fotografias de outras divisões do Parque Urbano.	73
<b>Figura 33</b> - Fotografia da zona menos protegida do Parque Urbano.	73
<b>Figura 34</b> - Investimento Inicial, custos de exploração e custos totais actualizados da Alternativa I e II.	81

<b>Figura 35</b> – Comparação dos custos atingidos para o Parque Urbano, caso a Alternativa I fosse implementada. ....	82
<b>Figura 36</b> - Fluxograma do esquema de tratamento que será implementado na ETAR de Campo. ....	86
<b>Figura 37</b> - Localização da ETAR de Campo. ....	87
<b>Figura 38</b> - Esquema representativo da solução proposta. ....	93
<b>Figura 39</b> - Dimensões da área ocupada por um centro de lavagem de veículos, da empresa Elefante Azul. ....	94
<b>Figura 40</b> – Distância entre a ETAR de Campo e o local proposto para localização do centro de lavagem de veículos. ....	94
<b>Figura 41</b> - Exemplo de uma bomba Electrobomba Multicelular Vertical. ....	96
<b>Figura 42</b> – Material utilizado para lavagem da placa. ....	97
<b>Figura 43</b> - Fotografias tiradas no decorrer da experiência realizada. ....	98
<b>Figura 44</b> – Comparação visual entre o efluente tratado e a água potável, após a junção de detergente. ....	98
<b>Figura 45</b> – Fotografias da placa quase seca (à esquerda) e completamente seca (à direita). ....	99
<b>Figura 46</b> – Comparação dos cash-flow, para os 3 cenários, durante a vida útil do projecto. ....	104
<b>Figura 47</b> – Distribuição da amostra por género. ....	A16
<b>Figura 48</b> – Distribuição de idades da amostra. ....	A16
<b>Figura 49</b> – Distribuição das Habilitações Académicas. ....	A17
<b>Figura 50</b> – Distribuição dos resultados sobre o conhecimento de uma ETAR. ....	A17
<b>Figura 51</b> – Distribuição dos resultados sobre o conhecimento sobre a temática Reutilização de Águas Residuais. ....	A18
<b>Figura 52</b> – Distribuição dos resultados sobre os usos possíveis para reutilização. ....	A18
<b>Figura 53</b> – Distribuição dos resultados sobre os motivos de reutilização. ....	A19
<b>Figura 54</b> – Distribuição dos resultados sobre a opinião relativa à rega e à lavagem de veículos. ....	A19
<b>Figura 55</b> – Distribuição dos resultados sobre as preocupações relativas à lavagem de veículos com águas residuais tratadas. ....	A20
<b>Figura 56</b> - Distribuição dos resultados sobre a opinião relativa à rega do Parque Urbano com águas residuais tratadas. ....	A20



## ÍNDICE DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Caudal de água residual tratada usado em Espanha (MARECOS DO MONTE, 2007).....	15
<b>Tabela 2</b> - Caudal de água residual tratada usado no aeroporto de Guarulhos, em São Paulo. ....	17
<b>Tabela 3</b> – Valores Máximos Admissíveis (VMA) para as concentrações de metais pesado nos solos a regar com águas residuais tratadas (mg/kg solo seco) (NP4434-2005).....	25
<b>Tabela 4</b> – Distância mínima, em metros, entre o limite da zona regada e zonas com ocupação humana permanente. ....	25
<b>Tabela 5</b> - VMA para os parâmetros de qualidade microbiológica das águas residuais tratadas para reutilização em rega e esquemas de tratamento adequados.....	26
<b>Tabela 6</b> – Monitorização e respectiva periodicidade aquando da utilização de águas residuais para rega. ....	29
<b>Tabela 7</b> – Consumo de água (Vasquez, Alfonsin, & Mohr, 1999).....	31
<b>Tabela 8</b> – Níveis de qualidade da água residual aplicada à lavagem de veículo, na Austrália (Water, 2009) .....	34
<b>Tabela 9</b> - Representação dos valores dos parâmetros aquando da descarga na rede de saneamento (Vasquez, Alfonsin, & Mohr, 1999).....	34
<b>Tabela 10</b> – Vantagens e desvantagens da desinfecção por cloragem (EPA, Chlorine Disinfection, 1999). ....	40
<b>Tabela 11</b> – Vantagens e desvantagens da desinfecção com ozono (EPA, Ozone Disinfection, 1999).....	41
<b>Tabela 12</b> – Vantagens e desvantagens da desinfecção por UV (EPA, Ultraviolet Disinfection, 1999).....	42
<b>Tabela 13</b> - Vantagens e desvantagens da desinfecção com lagoas de maturação. ....	43
<b>Tabela 14</b> – Vantagens e desvantagens da tecnologia MBR (Metcalf & Eddy, 2003; Murakami, 2005). ....	44
<b>Tabela 15</b> – Eficiência de remoção e qualidade do efluente quando é utilizada a tecnologia MBR (Melin, et al., 2005).....	45
<b>Tabela 16</b> – Comparação entre os métodos mais usados na remoção de organismos patogénicos, como tratamento avançado. (Metcalf & Eddy, 2003; Urkiaga & De las Fuentes, 2004; Vitoria, 2002). ....	45
<b>Tabela 17</b> - Comparação sobre os problemas associados entre os reservatórios do tipo aberto e fechado .....	49
<b>Tabela 18</b> – Estratégias adoptadas para resolução dos problemas existentes nos dois tipos de reservatórios (Metcalf & Eddy, 2003).....	50
<b>Tabela 19</b> – Principais componentes de cada uma das fases do estudo (Martins et al, 2006).....	53
<b>Tabela 20</b> – Resultados das análises do efluente final nos quatro trimestres de 2008.....	55
<b>Tabela 21</b> – Resultados da exploração. ....	56
<b>Tabela 22</b> – Estimativa dos consumos médios diários de água potável para rega, na região de Ermesinde (Ano de 2008). .	59
<b>Tabela 23</b> – Estimativa do consumo de água médio diário, no Parque Urbano, para o ano 0 e para o ano horizonte. ....	60
<b>Tabela 24</b> – Valores relativos ao volume aplicado e volume de adução, para cada período em estudo.....	63
<b>Tabela 25</b> – Valores obtidos para o volume armazenado em cada período, para o dia de maior consumo no ano horizonte. ....	63
<b>Tabela 26</b> – Critérios adoptados para o dimensionamento da bomba pretendida. ....	64
<b>Tabela 27</b> – Valor do diâmetro da conduta obtido para o período 1 e 2. ....	64
<b>Tabela 28</b> – Verificação do valor da velocidade para o período 6.....	65
<b>Tabela 29</b> – Valor obtido para as perdas de cargas contínuas. ....	65
<b>Tabela 30</b> – Valor adoptado para a perda de carga localizada.....	65
<b>Tabela 31</b> – Valor obtido para as alturas manométricas totais.....	66

<b>Tabela 32</b> - Características das bombas escolhidas para os períodos em estudo .....	66
<b>Tabela 33</b> – Valores da transmitância consoante o tipo de filtração .....	68
<b>Tabela 34</b> – Cálculo da necessidade de ozono a aplicar .....	69
<b>Tabela 35</b> – Dosagens típicas de cloro para desinfecção de efluentes brutos e tratados (Eddy & Metcalf, 1991). ....	70
<b>Tabela 36</b> – Dosagem de cloro obtida para os três ensaios. ....	71
<b>Tabela 37</b> – Resultado obtido para a concentração de azoto amoniacal na água bruta. ....	71
<b>Tabela 38</b> – Quantidade de PT (Fósforo Total) veiculada pelas águas residuais tratadas da ETAR de Ermesinde calculado para o ano de projecto.....	75
<b>Tabela 39</b> - Quantidade de NT (Azoto Total) veiculada pelas águas residuais tratadas da ETAR de Ermesinde calculado para o ano de projecto.....	75
<b>Tabela 40</b> – Resumo dos critérios adoptados necessários para a análise económica para as duas Alternativas. ....	77
<b>Tabela 41</b> – Custos estimados de construção civil para as duas Alternativas.....	77
<b>Tabela 42</b> – Custos estimados sobre a aquisição do equipamento para a Alternativa I. ....	77
<b>Tabela 43</b> - Custos estimados sobre a aquisição do equipamento para a Alternativa II. ....	78
<b>Tabela 44</b> – Custos Totais de Investimento Inicial para a Alternativa I e II. ....	78
<b>Tabela 45</b> – Potências do equipamento e das bombas e respectivo horário de funcionamento por ano.....	79
<b>Tabela 46</b> – Encargos de exploração.....	79
<b>Tabela 47</b> – Custos actualizados para as duas Alternativas.....	80
<b>Tabela 48</b> – Tarifa associada às duas Alternativas.....	80
<b>Tabela 49</b> – Comparação dos custos totais em água potável e água residual tratada suportados pelo Parque Urbano, para a Alternativa I.....	82
<b>Tabela 50</b> - Resultados da exploração sobre a água residual afluyente da ETAR de Campo em 2007.....	84
<b>Tabela 51</b> - Resultados das análises do efluente final nos quatro trimestres de 2008.....	88
<b>Tabela 52</b> – Valores limite para o efluente utilizado na lavagem de veículos, de acordo com as orientações da EPA. (USEPA, 2004) .....	89
<b>Tabela 53</b> – Número mínimo e máximo de veículos que frequentou este centro na lavagem no mês de menor e maior afluência (2008).....	90
<b>Tabela 54</b> – Descrição dos três programas existentes na empresa Elefante azul. ....	90
<b>Tabela 55</b> – Definição dos cenários consoante o volume de água consumido. ....	91
<b>Tabela 56</b> – Consumo de água para o mês de menor (Janeiro) e maior consumo (Julho) para os 3 cenários em estudo (2008) .....	91
<b>Tabela 57</b> – Estimativa dos consumos médios diários de água para o dia de maior consumo, ao longo do tempo de vida do projecto para os três cenários. ....	92
<b>Tabela 58</b> - Critérios adoptados para o dimensionamento da bomba pretendida. ....	95
<b>Tabela 59</b> - Valor do diâmetro da conduta obtido. ....	95
<b>Tabela 60</b> - Valor obtido para a perda de carga contínua.....	95
<b>Tabela 61</b> - Valor adoptado para a perda de carga localizada. ....	96
<b>Tabela 62</b> - Valor obtido para a altura manométrica total. ....	96
<b>Tabela 63</b> - Características da bomba escolhida. ....	96

<b>Tabela 64</b> – Parâmetros a analisar sobre a água residual que sai da ETAR e respectivas periodicidades (USEPA, 2004) .	100
<b>Tabela 65</b> - Monitorização e respectiva periodicidade (Water, 2009). .....	100
<b>Tabela 66</b> - Resumo dos critérios adoptados na análise económica. ....	101
<b>Tabela 67</b> – Custos de construção civil para a solução proposta (Memória descritiva do projecto de ampliação da ETAR de Campo). ....	101
<b>Tabela 68</b> – Encargos de exploração. ....	102
<b>Tabela 69</b> – Custos actualizados.....	102
<b>Tabela 70</b> – Custo por lavagem consoante os diferentes cenários. ....	103
<b>Tabela 71</b> – Resultados dos lucros obtidos, para o ano 1 e do ano 10, para a empresa Águas de Valongo, S.A., relativos aos três cenários. ....	103
<b>Tabela 72</b> – <i>Cash-flows</i> atingidos pelo centro de lavagem de veículos para os 3 cenários, para o ano 1 e 10. ....	105
<b>Tabela 73</b> – Valores a cumprir referentes à água destinada à rega, citadas no Decreto-Lei nº 236/98. ....	A4
<b>Tabela 74</b> – Mapa de registo de nutrientes e metais pesados aplicados ao solo (NP4434, 2005). ....	A8
<b>Tabela 75</b> - Mapa de registo de nutrientes e metais pesados aplicados ao solo (continuação) (NP4434, 2005). ....	A9
<b>Tabela 76</b> - Mapa de programação da fertilização (NP4434, 2005). ....	A10
<b>Tabela 77</b> - Mapa de execução da fertilização (NP4434, 2005). ....	A11
<b>Tabela 78</b> – Mapa de acompanhamento da qualidade da água no solo (NP4434, 2005). ....	A12
<b>Tabela 79</b> - Estimativa do consumo de água médio diário e consumo anual, no Parque Urbano, para a vida útil do projecto em estudo. ....	A27
<b>Tabela 80</b> – Estudo económico para a Alternativa I. ....	A27
<b>Tabela 81</b> - Comparação dos custos totais em água potável e água residual tratada, para a Alternativa I, suportados pelo Parque Urbano. ....	A28
<b>Tabela 82</b> - Estudo económico para a Alternativa II. ....	A28
<b>Tabela 83</b> - Comparação dos custos totais em água potável e água residual tratada, para a Alternativa II, suportados pelo Parque Urbano. ....	A29
<b>Tabela 84</b> – Dimensionamento processual caso a Alternativa I fosse implementada. ....	A30
<b>Tabela 85</b> – Afluência anual de veículos que frequentou centro na lavagem, Elefante Azul. ....	A49
<b>Tabela 86</b> - Consumo de água anual para os 3 cenários em estudo. ....	A49
<b>Tabela 87</b> - Estudo económico para a implementação de um centro de lavagem de veículos na religião de Campo. ....	A50
<b>Tabela 88</b> - Evolução do cash-flow durante a vida útil do projecto para o cenário 1. ....	A50
<b>Tabela 89</b> - Evolução do cash-flow durante a vida útil do projecto para o cenário 2. ....	A51
<b>Tabela 90</b> – Evolução do cash-flow durante a vida útil do projecto para o cenário 3. ....	A51



## SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

ADN - Ácido Desoxirribonucleico

AV – Águas de Valongo, S.A.,

CBO<sub>5</sub> – Carência Bioquímica de Oxigénio

Cd – Cádmio

CMV – Câmara Municipal de Valongo

CQO – Carência Química de Oxigénio

Cr – Crómio

Cu – Cobre

DPD – dietil-*p*-fenilenodiamina

DQA – Directiva do Quadro da Água

ep – Equivalente Populacional

EPA – Environmental Protection Agency

ETAR – Estação de Tratamento de Águas Residuais

EUA – Estados Unidos da América

FAO – Food and Agriculture Organization

FAS – Sulfato Ferroso Amoniacal

Hg - Mercúrio

IPQ – Instituto Português da Qualidade

IRAR – Instituto Regulador de Águas e Resíduos

K – Potássio

KI – Iodeto de Potássio

MBR – Membrana Bio-Reactor

N – Azoto

NCl<sub>3</sub> - tricloramina

NH<sub>2</sub>Cl - monoclорamina

NHCl<sub>2</sub> - dicloramina

Ni – Níquel

NMP – Numero Mais Provável

NP – Norma Portuguesa

NT - Azoto Total

ONG - Organização Não Governamental

ONU – Organizações das Nações Unidas

P - Fósforo

Pb – Chumbo

PEAASAR – Plano Estratégico de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais

PT – Fósforo Total

RAS – Razão Adsorção Sódio

SDT - Sólidos Dissolvidos Totais

SST – Sólidos Suspensos Totais

UFC – Unidades Formadoras de Colónias

UV – Ultravioleta

VMA – Valor Máximo Admissível

VMR - Valor Máximo Recomendado

WHO – World Health Organization

Zn – Zinco

# 1

## INTRODUÇÃO

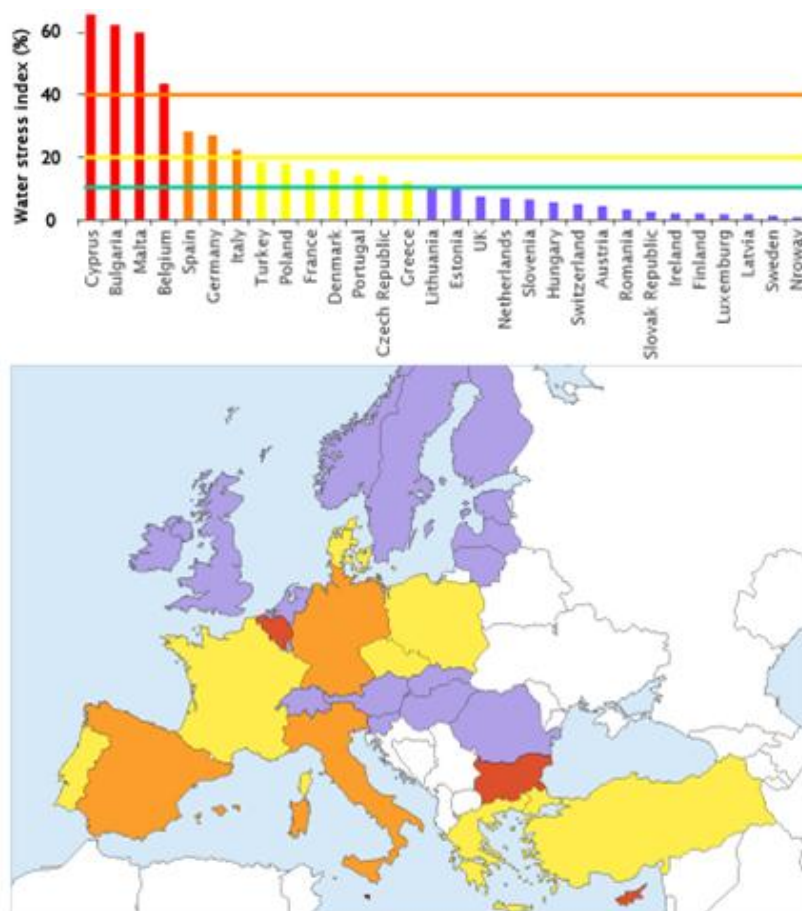
A crescente urbanização, as acentuadas alterações climáticas ocorridas em todo o mundo e os apreciáveis desenvolvimentos tecnológicos e industriais verificados, principalmente, na segunda metade do século XX, têm conduzido a alterações significativas nos padrões de vida da sociedade moderna, que se têm reflectido num aumento constante da procura de água. Esta permanente procura proporciona uma sobreexploração dos recursos hídricos disponíveis utilizando quantidades de águas superiores àquelas que a natureza consegue repor, originando um défice, denominado de índice de stress hídrico<sup>1</sup>, que se reflecte na alimentação natural dos rios através do escoamento dos aquíferos (Marecos do Monte M. , 2008).

Considera-se, então, que um país se encontra em stress hídrico baixo para índices inferiores a 10%, ou seja, quando as suas necessidades de água são inferiores a 10% da capacidade de regeneração total dos seus recursos hídricos. Os países que apresentam valores entre 10% e 20% indicam que os mesmos se encontram em stress hídrico médio, nesta situação, a disponibilidade de água representa um obstáculo ao seu desenvolvimento, sendo necessários investimentos significativos de modo a suprir tais carências. Para índices de stress hídrico superiores a 20%, este é considerado alto. Neste caso, é necessário reunir esforços para equilibrar o consumo e a procura da água, assim como resolver os conflitos entre a prioridade de utilização de água para diferentes usos. Esta situação resulta em graves consequências ambientais, económicas e também sociais, principalmente nas zonas semi-áridas e zonas costeiras, com baixos níveis de precipitação, e/ou onde ocorre uma extracção elevada de águas subterrâneas e/ou superficiais, devido a uma elevada densidade populacional e à irrigação agrícola em grande escala, situação verificada em alguns Países do Sul da Europa.

Na Figura 1 encontram-se representados países europeus por ordem decrescente do seu índice de stress hídrico, através da qual se pode constatar que 50% destes se encontram em situação de stress hídrico médio ou alto (indicados a vermelho, laranja e amarelo) (Bixio et al, 2005).

---

<sup>1</sup> Calculado através da razão entre a necessidade de água de um país e a capacidade de regeneração total dos recursos hídricos do mesmo. (Bixio, De Koning, Savic, Wintgens, Melin, & Thoeue, 2005)



**Figura 1** - Índice de stress hídrico verificado para os países Europeus (EUWI, 2007).

Neste contexto, a gestão dos recursos hídricos emerge como um dos principais paradigmas do desenvolvimento sustentável. O desafio que se coloca é, pois o de satisfazer as necessidades da sociedade actual (em energia, usos domésticos, agrícolas e industriais) e suas perspectivas de evolução social e económica, num cenário de progressiva escassez de água em quantidade e qualidade aceitáveis, protegendo, simultaneamente, a saúde do ambiente aquático e o serviço prestado pelo ecossistema de água doce, do qual o homem depende.

Este desafio tem, naturalmente, implicações na estabilidade social e política. Certamente que esta tarefa, sendo possível, é de difícil execução, pois pressupõe uma mudança fundamental de atitude por parte da sociedade na forma como a água é utilizada, gerida e valorizada.

Muito embora, a evolução tecnológica tenha permitido responder a algumas questões no âmbito do desenvolvimento dos recursos hídricos, como a construção de barragens e a dessalinização de água do mar, estas medidas não são suficientes para assegurar a sua sustentabilidade. Por este motivo, a adopção de outras estratégias, com o objectivo de conservar os recursos hídricos existentes (como por exemplo, a implementação de medidas de uso mais eficiente da água e a reutilização de água residual) é fundamental.

A reutilização de água residual para fins múltiplos tem surgido nos últimos anos, de forma enfática, como uma solução sustentável e compatível com as vertentes sociais, ambientais e económicas a ser adoptada no âmbito



da gestão dos recursos hídricos. Por outro lado, as crescentes exigências em matéria de licenciamento da descarga dos efluentes nos meios receptores, tem, igualmente, contribuído para que regiões que não apresentem problemas de escassez, implementem esta prática (Marecos do Monte, 2008).

Salvaguardar a utilização da água de forma eficiente traduz-se, inevitavelmente, na consideração das águas residuais tratadas como um recurso que poderá ser utilizado em usos múltiplos. Esta temática tem sido apelidada como o maior desafio do século XXI, cuja estratégia deverá ser construída sobre três princípios base:

- Assegurar que o tratamento das águas residuais se processa por meio de operações e processos fiáveis para a produção de um efluente que satisfaça os requisitos de qualidade compatíveis com a utilização pretendida;
- Assegurar a protecção da saúde pública;
- Conquistar a aceitação pública.

Tais princípios permitem que a aplicação da reutilização de águas residuais compreenda um conjunto alargado de áreas, designadamente, a agricultura e rega de espaços verdes, o uso industrial e doméstico, a reposição das águas superficiais e a recarga de aquíferos. O potencial de utilização de água residual tratada para fontes de água potável, também, poderá ser equacionado, embora esta aplicação gere alguma controvérsia, pois poderá causar graves problemas a nível da saúde pública (Takashi, Ph., & P., 1999).



## 2

# MOTIVAÇÃO E OBJECTIVOS

O presente trabalho teve origem na importância, inequívoca, que a empresa Águas de Valongo, S.A., (AV) sempre atribuiu à melhoria da qualidade das águas e à gestão equilibrada dos recursos hídricos. A AV apresenta um profundo conhecimento da realidade actual e uma forte capacidade de iniciativa, promovendo a definição de planos estratégicos de forma a atingir a sustentabilidade da gestão de recursos hídricos, como por exemplo a implementação de projectos de reutilização de água.

Actualmente, uma sociedade apenas é evoluída se tratar adequadamente os recursos disponíveis, sem desperdícios e compatibilizando as vertentes sociais, ambientais e económicas, e salvaguardando as gerações presentes e futuras.

Face às estas considerações iniciais, procurou-se neste trabalho realizar os seguintes objectivos:

- Identificação dos potenciais pontos de utilização de efluente tratado fora da ETAR de Campo e de Ermesinde, incluindo qualidade exigida, estimativa dos consumos e suas variações sazonais.
- Caracterização qualitativa e quantitativa do efluente tratado;
- Definição de processos alternativos de tratamento para o efluente recuperado, tendo em consideração a qualidade necessária para reutilização;
- Avaliação técnica e económica dos processos alternativos de tratamento;
- Dimensionamento de um sistema de tratamento, armazenamento, distribuição e monitorização para aproveitamento do efluente tratado.

Em resumo, este trabalho procura analisar a viabilidade de dois projectos, aplicados a dois estudos de caso, considerando a criação de projectos funcionais, sustentáveis e compatíveis com as vertentes sociais, ambientais e económicas.



## 3

## REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS

No presente capítulo, procura-se, definir a terminologia a utilizar na presente trabalho para um melhor entendimento, definindo alguns conceitos que pudessem introduzir alguma confusão. De seguida, pretende-se situar a temática da reutilização de águas residuais no contexto dos factores que determinam a sua necessidade e que estão directamente relacionados com a crescente disponibilidade, quer quantitativa, quer qualitativa dos recursos hídricos. Numa terceira parte, apresenta-se uma descrição sucinta da legislação base, a nível nacional e internacional, que regula o sector da reutilização de águas residuais. Por fim, pretende-se enumerar alguns casos mundiais, que incluem a reutilização de águas residuais como uma das políticas de gestão de recursos hídricos.

### 3.1 CONCEITOS E DEFINIÇÕES

Embora não constitua objectivo central deste capítulo efectuar uma descrição exaustiva de todos os conceitos e definições associados a esta temática, considerou-se, contudo, pertinente focar os seus principais pontos.

Para um melhor entendimento, referir que “reutilização da água” e “utilização de águas residuais” são sinónimos de “reutilização de águas residuais”, apenas expressos de forma diferente por uma questão de rigor formal. Assim, a reutilização de águas residuais consiste no aproveitamento resultante de uma primeira utilização da água, para finalidades diferentes da primeira e após tratamento.

Geralmente, a reutilização da água não deve ser feita sem a “recuperação das águas residuais”, por meio de um tratamento adequado com vista à reutilização pretendida.

Também, por vezes, os termos “reutilização” e “reciclagem” são utilizados indiscriminadamente, como sinónimos, que efectivamente não são, visto que o conceito de reciclagem se aplica à utilização da mesma água uma ou mais vezes no mesmo processo, enquanto a reutilização se refere a aplicações noutros processos diferentes da utilização inicial. A reciclagem da água é praticada, sobretudo na indústria e constitui também uma estratégia para a sua gestão eficiente (Marecos do Monte, 1996).

De uma maneira geral, a reutilização de águas residuais pode ocorrer de forma directa ou indirecta. A reutilização indirecta ocorre quando os efluentes domésticos depois de tratados são descarregados nos meios receptores e utilizados, novamente a jusante, para outros fins. Quanto à reutilização directa, sucede quando os efluentes sofrem tratamento nas ETAR e, de seguida são directamente utilizados para usos de rega, na

indústria, em recarga de aquíferos e para usos para fins não potáveis (Metcalf & Eddy, 2003). Este tipo de reutilização será abordado neste trabalho.

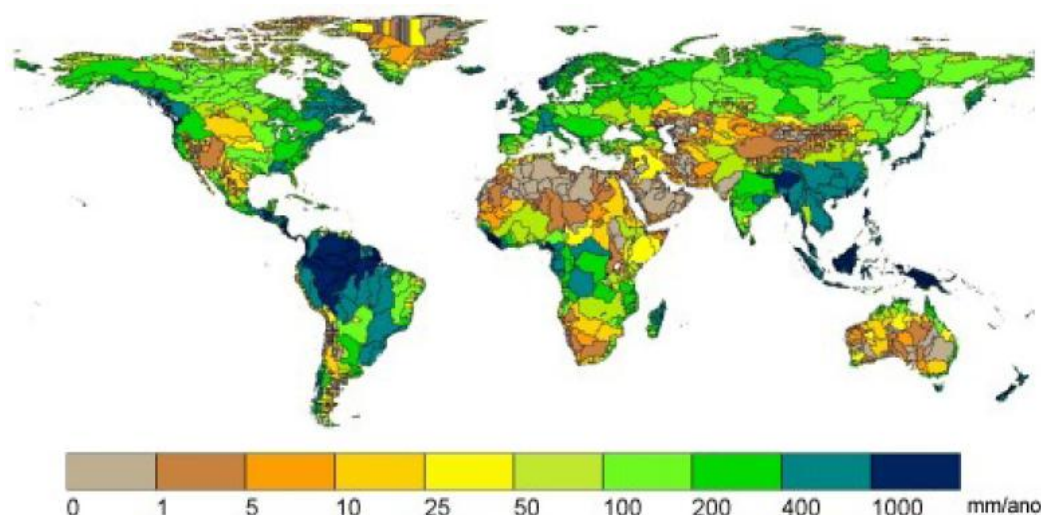
### 3.2 RECURSOS HÍDRICOS E O USO DA ÁGUA

A água é um bem precioso e insubstituível, imprescindível à vida na Terra tal como a conhecemos hoje. É um recurso natural que proporciona saúde, conforto e riqueza ao Homem por meio dos seus incontáveis usos, dos quais têm particular relevância o abastecimento de água às populações, a irrigação, a produção de energia e o lazer, sendo um recurso fundamental para o desenvolvimento económico das populações.

O volume total de água na Terra é cerca de 1,4 mil milhões de km<sup>3</sup>, os quais se encontram distribuídos por uma grande diversidade de locais. A maior percentagem desse volume refere-se a água salgada que se encontra, principalmente, nos oceanos e mares (97,5%), sendo que a restante percentagem corresponde a água doce (2,5%), encontrando-se, praticamente, toda no estado sólido e em aquíferos (UNESCO et al, 2006).

As principais fontes de água doce para consumo humano são os lagos, rios e águas superficiais. Contudo, grande parte desta água encontra-se longe das populações, o que dificulta a sua utilização. Por outro lado, a maioria dos habitantes das zonas rurais depende, igualmente, da utilização de águas subterrâneas, extraindo anualmente cerca de 600 a 700 km<sup>3</sup> (7% de toda a água doce armazenada nos aquíferos) (Planetearth, 2007).

A Figura 2, demonstra a existência de regiões com escassez de água doce (sinalizados a cinza). Esta situação deve-se, em grande parte, à má gestão dos recursos hídricos, designadamente a falta de eficiência no uso da água como consequência da grande quantidade de água que é extraída e que se perde, ou devido à sua poluição que a torna inviável. Outro factor importante na escassez de água doce é derivado dos climas quentes que se fazem sentir nessas regiões.



**Figura 2** - Disponibilidade de água doce mundial em 1995 (Alcamo et al, 2000).

A Organização para a Agricultura e Alimentação (FAO, sigla de Food and Agriculture Organization) desenvolveu uma base de dados sobre a água disponível na Terra, denominada AQUASTAT. Este índice representa a

quantidade de água teórica disponível para uso humano que resulta da soma do escoamento superficial anual, com a água que se infiltra no solo para recarregar os aquíferos. As zonas do mundo mais chuvosas são as que apresentam uma disponibilidade de água maior e vice-versa. (UNESCO et al, 2006). No entanto, este índice apresenta algumas limitações, nomeadamente, nas estimativas que são realizadas, que indicam apenas os valores máximos teóricos disponíveis para cada país, e não apresenta a quantidade realmente disponível. Outra desvantagem que este índice apresenta, é o facto de conter valores gerais do país, e não valores sazonais ou valores locais. Deste modo, uma maior pormenorização permitiria analisar as diferenças dentro de cada país e verificar as áreas onde se sofre uma maior escassez de água.

Assim, em resposta à crescente preocupação que esta temática envolve existiu a necessidade de encontrar recursos alternativos, bem como definir estratégias, designadamente, a de reutilização de águas residuais, de modo a promover uma solução alternativa no planeamento e gestão dos recursos hídricos.

Em suma, os factores que contribuem diariamente para o agravamento desta situação, incluem o crescimento populacional, as alterações climáticas, a poluição dos meios hídricos e a excessiva extracção de água subterrânea.

### 3.2.1 CRESCIMENTO POPULACIONAL

Em 2000, a população mundial era de, aproximadamente, 6,2 biliões. No entanto, verifica-se que este valor continua a aumentar, como demonstra a Organização das Nações Unidas (ONU), estimando que até 2030 haverá um acréscimo de 2 biliões de pessoas, sendo que em 2050 prevê-se que se ultrapassa-se os 9 biliões, vidé Figura 3 (WBCSD, 2006).

Como tal, visto que os recursos hídricos na Terra são finitos, o abastecimento de água nestas zonas irá se deparar com dificuldades crescentes. Porém, esta questão não afectará, exclusivamente, as zonas áridas e semi-áridas, onde se localiza grande parte dos denominados países subdesenvolvidos e em vias de desenvolvimento. Alguns países europeus, aparentemente ricos em recursos hídricos, com elevado nível de desenvolvimento populacional, apresentam áreas fortemente industrializadas onde a utilização da água é permanente, começando a debater-se com problemas de escassez, devido a uma sobre-exploração dos seus recursos hídricos (Marecos do Monte, 1996).

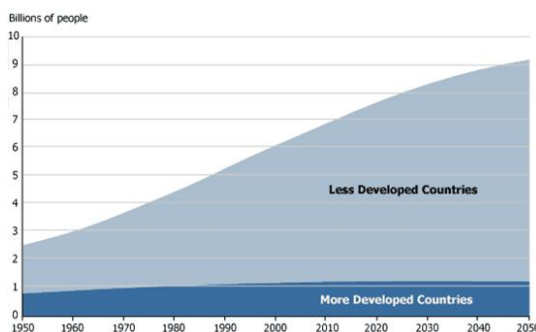


Figura 3 - Estimativa do crescimento populacional até 2050.

### 3.2.2 ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS

Na realidade, a disponibilidade de água com qualidade e a ocorrência de fenómenos extremos nomeadamente, cheias e secas, condicionam a localização dos aglomerados urbanos, das áreas industriais e agrícolas, dos centros de produção de energia e das actividades comerciais.

Nos últimos anos, as alterações climáticas ocorridas têm revelado uma sucessão de fenómenos naturais descontrolados e imprevisíveis. Estudos sobre tendências futuras das alterações climáticas indicam que a precipitação anual deverá estabilizar ou aumentar, até 2050, por outro lado, os fenómenos de seca irão ocorrer com maior frequência, nomeadamente no Sul da Europa e Norte de África. Este facto irá deteriorar a cobertura vegetal do solo reduzindo a capacidade de infiltração e causando a sua erosão. As secas apresentam, actualmente, impactos fortes sobre a economia regional, no domínio do ambiente e sobre a qualidade de vida das populações, designadamente, em perdas na agricultura, nos ecossistemas de água doce e também, mas não menos importante, problemas no abastecimento de água (Marecos do Monte, 2007).

Neste momento, só é possível elaborar previsões gerais sobre o impacto das alterações climáticas nos recursos hídricos, pelo que seria importante recolher informação detalhada, por exemplo, avaliando impactes ambientais sobre os recursos hídricos em regiões específicas e sob diferentes cenários políticos, de forma a realizar-se estudos exaustivos sobre as condições de cada local.

É imperioso reconhecer que as alterações climáticas vêm condicionar as práticas prevalecentes de gestão de recursos hídricos, introduzindo incertezas adicionais e impondo a necessidade de reforço da capacidade de adaptação dos sistemas hídricos às alterações climáticas (USEPA, 2004).

### 3.2.3 POLUIÇÃO DOS MEIOS HÍDRICOS

A nível mundial a qualidade dos recursos hídricos ganhou estatuto político, tornando-se um dos principais tópicos de debate ao nível das políticas locais. Esta nova atitude reflecte em parte o facto das necessidades básicas da população, no que diz respeito, ao saneamento básico, transportes públicos, educação e saúde, estarem gradualmente a ser satisfeitos, e por outro lado a crescente consciencialização pública para os problemas ambientais.

Entretanto, foram dados passos importantes para consolidar uma política ambiental emergente e de âmbito progressivamente alargado na generalidade dos países desenvolvidos, nomeadamente, no que respeita à gestão das águas residuais. Por outro lado, em alguns países subdesenvolvidos, como a Índia e o Irão, onde a fiscalização não é regular, verificam-se situações de incumprimento, nos quais as descargas de efluente bruto, sem qualquer tipo de tratamento, em rios e ribeiras, são práticas correntes. Quando tal sucede, as indemnizações, que por vezes, são impostas às indústrias são pesadas financeiramente, logo a procura de alternativas económico/ambientalmente credíveis deve constituir um dos novos desafios nestes países (UNESCO et al, 2006).



Assim, o tratamento das águas residuais com vista à reutilização, pode surgir como uma das alternativas possíveis de modo a realizar, a curto prazo uma melhoria ambiental e a longo prazo uma melhoria financeira (USEPA, 2004).

### 3.2.4 EXTRACÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

A competição pela procura de água está a crescer de tal ordem que esta é, excessivamente, extraída dos aquíferos subterrâneos, principalmente, nas áreas secas, a um ritmo insustentável e, como consequência, muitos deles estão a ficar esgotados (Foster et al, 1998). Este facto é observado a vários níveis, designadamente, em relação ao reduzido volume infiltrado e à existência de uma água com níveis de qualidade inferiores.

No entanto, a ameaça à escassez de águas subterrâneas não é tão óbvia, como a ameaça em relação às águas superficiais, uma vez que existem menos evidências visuais e os efeitos da sua extracção excessiva demoram mais tempo a serem reconhecidos. Neste contexto, de modo a evitar a escassez de água subterrânea a reconstituição de aquíferos com água residual tratada é, actualmente, uma prática recorrente em todo o mundo, prevendo-se que a utilização desta técnica continue a aumentar gradualmente

Em suma, as consequências dos factores, anteriormente, enumerados geram dificuldades na obtenção do designado desenvolvimento sustentável dos recursos hídricos. Para tal, será necessária uma mudança de comportamento da sociedade e da população em geral. Esta mudança não se consegue somente com regulamentos e leis, mas sim com uma melhor compreensão da sociedade e dos seus problemas estruturais, orientando os seus valores para a preservação do ambiente (UNESCO et al, 2006).

Deste modo, a reutilização parte do princípio que nenhuma água de boa qualidade deve ser utilizada para usos que permitam águas de qualidade inferior. Dever-se-á, sempre que possível, com o uso de tecnologias apropriadas, recuperar e reutilizar a água para fins diversos.

## 3.3 ENQUADRAMENTO LEGAL E INSTITUCIONAL

Mundialmente, a reutilização de águas residuais baseia-se, fundamentalmente, nas directrizes da World Health Organization (WHO) e da Environmental Protection Agency (EPA). A WHO estabeleceu planos sobre a reutilização de água residual visando a protecção da saúde pública e considera este conceito como uma componente estratégica da conservação da água (Takashi, Ph., & P., 1999). No caso da EPA, em 2004, foi criado o manual “*Guidelines for Water Reuse*”, onde se encontram especificados os resultados obtidos no levantamento dos sistemas de reutilização de água implementados, legislações estaduais e, ainda, os critérios recomendados para a reutilização de água nos Estados Unidos da América (EUA). Tais critérios de qualidade baseiam-se em requisitos de uso específico, em considerações estéticas e ambientais e na protecção da saúde pública.

Nos países em desenvolvimento, onde as infecções parasíticas são endémicas, as orientações recomendadas pela WHO, para a reutilização de água, são consideradas menos restritivas quando comparadas com as da EPA, dirigindo-se principalmente para a remoção de agentes patogénicos. Países como os EUA e Israel, afectados por escassez de recursos hídricos, foram pioneiros na publicação de regulamentação relativa à reutilização da água residual (USEPA, 2004).

Para além dos restantes continentes, a Europa deparou-se, nos últimos anos, com alterações significativas nos seus padrões e níveis de vida, existindo a necessidade de desenvolver directivas comunitárias relativas a diferentes aplicações de reutilização. Neste sentido, a integração progressiva das políticas ambientais traduziu-se na aprovação da Directiva 91/271/CEE, que refere no seu artigo 12º que os Estados-Membros devem reutilizar as águas residuais sempre que adequado, embora não se defina, claramente, o que se entende por “adequado” (Directiva 91/271/CEE).

Nesta sequência, constitui-se a Directiva 2000/60/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de Outubro, simplificada como Directiva do Quadro da Água (DQA) que pretende criar um quadro legal comunitário mais consistente e actualizado, tendo em conta as novas abordagens de protecção das águas. Assim, a DQA assenta em quatro pontos base, designadamente:

- A elaboração de Planos Municipais de Conservação da Água;
- O desenvolvimento de incentivos financeiros por parte de diversos agentes político-sociais para a adopção de medidas de conservação e de reutilização da água;
- A adopção de medidas de educação ambiental;
- A criação de uma política de custos aplicada à água, que incentive a identificação de origens alternativas e menos onerosas, e que contribua para a sustentabilidade das suas captações em cada bacia hidrográfica.

Desta forma, a gestão integrada de recursos naturais desempenha um papel preponderante, conforme preconizado pela DQA, constituindo necessariamente um enorme desafio às estruturas institucionais existentes, obrigando-as a repensar objectivos e modelos administrativos que incorporem estes desígnios (Directiva 2000/60/CEE).

No entanto, Portugal ainda não estabeleceu critérios específicos para salvaguardar os interesses do público, em geral, e do utilizador da água residual tratada, em particular, mas já existem iniciativas para a sua formulação. Na realidade, a legislação existente para a água potável e para o lançamento de águas residuais nos meios receptores poderá auxiliar na elaboração de futuros critérios para a prática da reutilização de águas residuais.

Neste sentido, a utilização do Decreto-Lei nº236/98 revela-se fundamental, uma vez que estabelece os padrões de qualidade aplicáveis à água potável e os valores limite de modo a garantir a qualidade das águas superficiais

em função de diferentes usos, nomeadamente, no que diz respeito às águas superficiais para consumo humano, águas para suporte de vida aquícola e águas de rega (Decreto-Lei n.º 236/98).

Igualmente, o Decreto-lei n.º 152/97 poderá auxiliar a criação de regulamentação específica nesta matéria. Este Decreto-Lei, determina a classificação dos corpos de água e o estabelecimento de directrizes ambientais para o seu enquadramento, procedendo à transposição para o direito interno da Directiva n.º 91/271/CEE (Decreto-Lei n.º 152/97). Ao nível da legislação sobre a descarga das águas residuais urbanas, este é sem dúvida o documento legislativo mais importante, estando nele estabelecido os valores de descarga que as águas residuais, depois de tratamento apropriado, deverão cumprir. Além dos valores de descarga, é estabelecido o nível de tratamento que os efluentes deverão ser sujeitos, tendo em consideração o número de equivalente populacional (e.p.) do aglomerado em questão e do meio onde irá ser descarregado (zona sensível ou zona menos sensível). As descargas em zonas menos sensíveis devem obedecer os valores para a carência bioquímica de oxigénio (CBO<sub>5</sub>) e carência química de oxigénio (CQO), podendo facultativamente cumprir o valor para os Sólidos Suspensos Totais (SST). Nas zonas sensíveis, as descargas devem obedecer, ainda, aos valores estabelecidos para o azoto (N) e/ou para o fósforo (P).

Embora sem cariz legal, foi publicada, em 2005, a Norma Portuguesa 4434 (NP 4434-2005), pelo Instituto Português da Qualidade (IPQ), demonstrando um enorme avanço no sentido da implementação de projectos de reutilização de águas residuais. Esta NP 4434-2005 existe como complemento da legislação aplicável, ou como forma de colmatar eventuais lacunas legais, definindo uma série de critérios e procedimentos a adoptar na rega e na monitorização da zona potencialmente afectada por essa rega, bem como requisitos de qualidade das águas residuais urbanas tratadas destinadas à rega com vista a assegurar a protecção da saúde pública e do ambiente. É de notar, que esta NP 4434-2005 se aplica, exclusivamente, à utilização de águas residuais urbanas tratadas na rega de culturas agrícolas, florestais e espaços verdes, excluindo-se as águas residuais industriais ou provenientes de instalações agrícolas ou agro-industriais (NP4434, 2005).

Ainda em 2009, prevê-se a publicação de um guia técnico sobre “Reutilização de águas residuais urbanas” elaborado pelo Instituto Regulador de Águas e Resíduos (IRAR) que abordará as aplicações, o contexto legal e institucional, normas de qualidade, aspectos sobre a viabilidade técnica/económica e a respectiva participação pública, entre outros, sobre a implementação de sistemas de reutilização de águas residuais para vários tipos de aplicações (IRAR).

Em suma, poder-se-á referir que a pressão económica e ambiental, bem como a constante e progressiva escassez de água adequada aos fins, aliada à crescente exigência de qualidade, têm conduzido a uma agilização da evolução legal. Com efeito, é imperioso a criação de novos quadros regulamentares que contemplem situações não abrangidas pela legislação existente, e clarifique situações ambíguas que possam, eventualmente, existir.

### 3.4 PERSPECTIVA MUNDIAL NA UTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS

Vários países já incluíram a reutilização de águas residuais, provenientes das ETAR, na sua política de gestão de recursos hídricos, principalmente aqueles em que uma parte do seu território se estende por zonas de clima árido ou semi-árido (EUA, países do Norte de África, Austrália e Médio Oriente), de clima tropical (América Latina e Índia) ou de clima mediterrâneo (Sul da Europa). Igualmente, a China que apresenta maioritariamente um clima temperado continental, no qual se concentra cerca de 70% da sua população, encontra-se na actualidade a apostar na aplicação de técnicas de reutilização de águas residuais. Por outro lado, os países ricos em recursos hídricos, como o Norte da Europa e o Japão também têm demonstrado interesse nesta matéria (USEPA, 2004).

Todos estes países reconhecem a importância crescente da reutilização de águas residuais no equilíbrio global dos seus recursos hídricos e como uma resposta eficiente na melhoria da gestão das suas bacias hidrográficas. No entanto, é de referir que os países em condições mais críticas têm de desenvolver a sua capacidade de tratamento de águas residuais necessárias para a reutilização, que envolvem custos significativos, muitas vezes fora do alcance de algumas comunidades. Nesta situação, deverão existir incentivos financeiros por parte do governo do país ou até mesmo de Organizações Não Governamentais (ONG).

#### 3.4.1 EUROPA

Na Figura 1 (vidé capítulo 1) demonstra que praticamente metade dos países europeia encontra-se em situação de stress hídrico médio ou alto, o que representa cerca de 70% da população europeia. Daí que a Europa, nomeadamente Bélgica, Suécia e Reino Unido e também Sul da Europa tem feito um forte investimento nesta área, sendo que existem cerca de 700 projectos que já se encontram em funcionamento. Na Bélgica o maior projecto de reutilização de águas residuais está localizado em Wulpen, onde é efectuado a recarga de aquíferos para abastecimento de água potável. Este projecto, apresenta uma capacidade de tratamento cerca de 7.000 m<sup>3</sup>/dia onde é armazenado durante 1-2 meses no aquífero antes da captação para produzir água potável. Depois de efectuar o tratamento secundário é submetido a um tratamento adicional constituído pelo processo de microfiltração, seguido de osmose inversa terminando com uma desinfecção por radiação ultravioleta (UV). A construção deste projecto ascendeu aos 2,5 milhões de euros para obras de construção civil e 3,5 milhões de euros para compra de equipamentos electromecânicos (Wintgens, et al., 2004). A sua implementação promove uma vantagem ambiental, uma vez que forma uma barreira hidráulica contra a intrusão de água salgada. Igualmente, em Barcelona e em Londres existem projectos de utilização de águas residuais para recarga de aquíferos com o intuito de segurar a intrusão salina nos aquíferos costeiros (Marecos do Monte, 2007).

No que diz respeito à rega agrícola, a reutilização de águas residuais são uma grande aplicação na França e na Itália. Existem mais de 3.000 hectares, na França, onde é utilizado águas residuais para regar culturas, jardins, pomar de frutas, pastagens e campos de golfe. O projecto denominado Clermont-Ferrand foi implementado em

1999 cuja instalação de tratamento das águas residuais é composta por um processo de lamas activadas seguido de um processo de desinfecção através de uma lagoa de maturação, utilizando diariamente mais de 10.000 m<sup>3</sup> para rega. Também para fins industriais, nomeadamente, para torres de arrefecimento tem sido amplamente desenvolvido desde 2004.

Algumas regiões de Itália (Sicília, Sardenha e Puglia) são afectadas por secas recorrentes e sofrem um desequilíbrio de água. A procura da água para rega tem vindo a aumentar ao longo dos anos, sendo que actualmente existem mais de 4.000 hectares regados com águas residuais. Um dos maiores projectos foi executado na Emilia Romagna onde mais de 1.250 m<sup>3</sup>/dia do efluente tratado é utilizado para rega de 400 hectares. A reutilização de águas residuais para fins industriais também é uma categoria que na cidade de Turim se realiza, tratando cerca de 500.000 m<sup>3</sup>/dia, sendo que cerca de 8% do efluente sofre um tratamento adicional a partir do processo de filtração e desinfecção por cloragem.

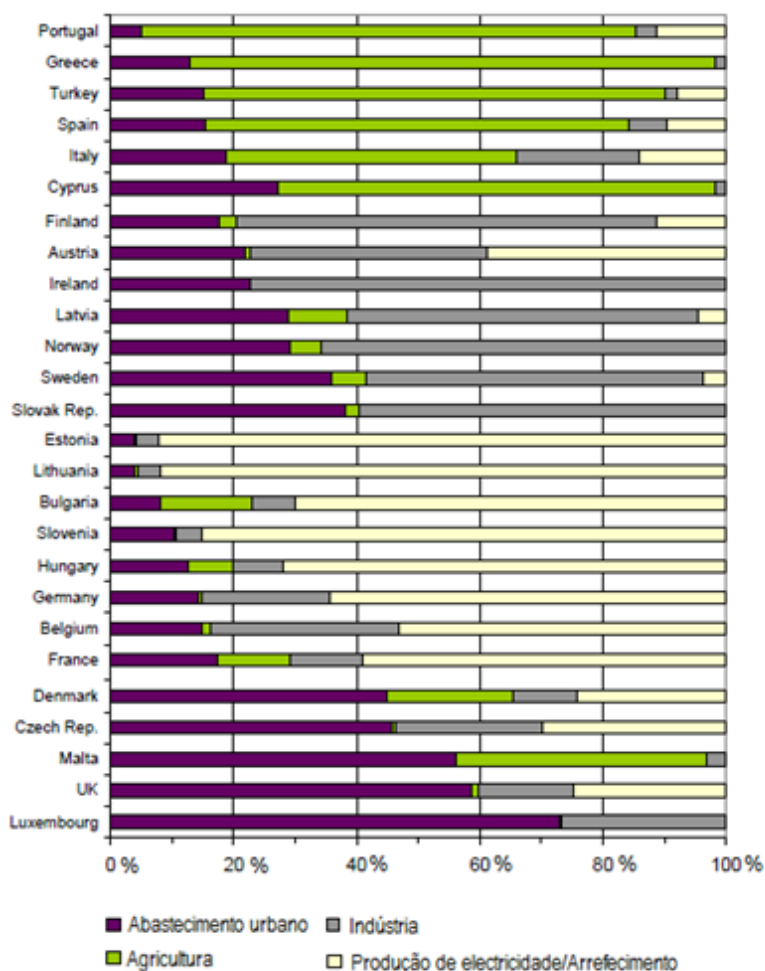
Apesar do facto de Portugal não ser banhado pelo mar Mediterrâneo apresenta características semelhantes ao clima mediterrâneo particularmente a partir do sul do rio Tejo. Portugal continental apresenta um deficit hídrico de 57,5%, uma vez que secas recorrentes afectam gravemente o Sul de Portugal. A principal aplicação da reutilização de águas residuais tratadas, em Portugal, é na rega agrícola e paisagística, começando a surgir cada vez mais estudos e projectos desta índole. Os próprios nutrientes presentes nas águas residuais acabam por ser aproveitados com a reutilização, reduzindo a quantidade de fertilizantes químicos a aplicar no solo. No entanto, o projecto mais importante em curso é a aplicação de águas residuais para rega de campos de golfe na região do Algarve. Sendo que grande parte das ETAR que tratam as águas residuais para rega de campos de golfe tem instalado um processo de nível secundário, nomeadamente processos de lamas activadas, seguido de uma etapa de desinfecção por UV. (Marecos do Monte, 2007) A região Algarvia é uma das regiões a nível nacional onde a reutilização de água residual tem maior tendência de desenvolvimento, objectivo aliás que está consagrado no documento de trabalho Plano Estratégico de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais 2007-2013 (PEAASAR) (Martins, Freire, Sousa, & Ribeiro, 2006).

Também em Espanha, principalmente no Sul, o maior interesse da reutilização de água residuais tratadas é aplicado para rega agrícola e paisagística, conforme demonstra na Tabela 1.

**Tabela 1** – Caudal de água residual tratada usado em Espanha (MARECOS DO MONTE, 2007).

Tipo de aplicação	Caudal (hm <sup>3</sup> /ano)	(%)
Rega	323	79,2
Usos Urbanos	33	8,1
Golfes	25	6
Indústria	3	0,7
Ecológicos	24	6

Por fim, na Figura 4 mostra que as aplicações de água residual tratada são distintas entre o Norte e Sul da Europa. No Sul, a reutilização da água residual é valorizada fundamentalmente para rega da agricultura e espaços verdes, enquanto no Norte da Europa é usado para aplicações urbanas e industriais. A figura reflecte com clareza a distribuição sectorial sobre a utilização da água nos diferentes países.

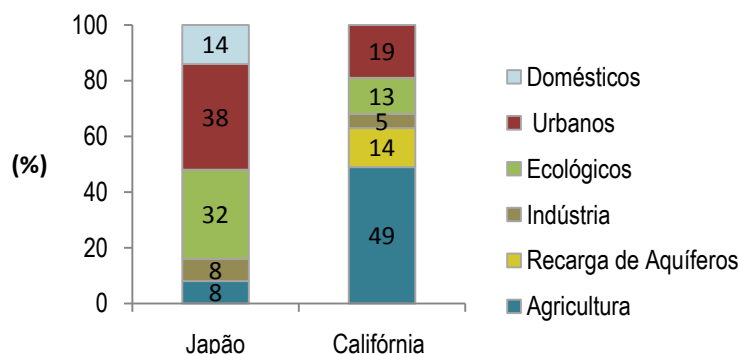


**Figura 4** - Aplicações por sectores da água residual tratada na Europa (AQUAREC, 2006).

### 3.4.2 AMÉRICA

No continente americano, os EUA destacam-se como o país onde existe efectivamente uma prática de reutilização da água e uma política estruturada de gestão de recursos hídricos que inclui os efluentes das ETAR como um recurso disponível. Em termos globais, os EUA dispõem de recurso hídricos suficientes para as suas necessidades actuais e futuras, mas extensas áreas do oeste e centro-oeste não são auto-suficientes em água ou deixarão de o ser a curto prazo. Estados do sul do país como a Califórnia, Florida, Arizona e Texas são frequentemente afectadas por secas, tendo como principal fonte de água o rio Colorado. Na Califórnia, no ano de 2001, a água residual tratada foi utilizada para regar 122.382 residenciais, 419 campos de golfe, 405 parques e 188 escolas, sendo que cerca de 50% da água residual tratada foi destinada à rega de espaços verdes de

efeito paisagístico, o restante é utilizado para fins urbanos e industriais e também recarga de aquíferos (AQUAREC, 2006; Takashi, Ph., & P., 1999; USEPA, 2004). A Figura 5 mostra uma comparação da reutilização da água residual na Califórnia e no Japão. Apenas 8% de reutilização de água residual no Japão destina-se à rega agrícola e paisagística contra 49% na Califórnia. É interessante notar que a reutilização da água no Japão foi decisivamente voltada para aplicações urbanas não potáveis.



**Figura 5** – Comparação da percentagem de utilização água residual tratada nos países da Califórnia e Japão (Adaptado AQUAREC, 2006).

No estado do Texas existem 190 aplicações de reutilização de água em 115 municípios, sendo o volume de reutilização de aproximadamente 600 milhões de m<sup>3</sup>/dia. As aplicações são essencialmente em rega de campos de golfe e águas de arrefecimento na indústria (USEPA, 2004).

Na América Latina, países como o México e Peru, a reutilização de águas residuais já começa a fazer parte integrante da política estruturada da gestão de recursos hídricos, nomeadamente para fins de rega da agricultura e de parques criativos. Esta política, é também praticada noutros países embora em menos escala ou de um modo ainda incipiente, como o caso do Chile, da Argentina e do Brasil. No entanto, mais recentemente no Brasil foi efectuado um projecto no aeroporto de Guarulhos, em São Paulo, onde a água residual é aplicada para vários fins (vidé Tabela 2) necessitando de 2.729 m<sup>3</sup>/dia de água residual tratada. É de referir, que, para a rega de espaços verdes, o tratamento aplicado às águas residuais reside no tratamento biológico e numa fase posterior é colocado numa lagoa de estabilização. No que diz respeito à aplicação na limpeza de pavimentos, as águas residuais para além do tratamento atrás referido também é necessário realizar uma etapa de filtração para retirar os SST. Para as restantes aplicações acrescenta-se um tratamento adicional, mais propriamente um processo de desinfecção por UV (Gohringer, 2006).

**Tabela 2** - Caudal de água residual tratada usado no aeroporto de Guarulhos, em São Paulo.

Tipos de aplicação	Caudal (m <sup>3</sup> /dia)
Autoclismos	2.174
Ar condicionado (torres de arrefecimento)	480
Lavagem de aviões	50
Limpeza de pavimentos	15
Rega	10
<b>Caudal total</b>	<b>2.729</b>

### 3.4.3 ÁSIA

No Japão apesar de 89,6% das cidades com população superior a 50.000 habitantes possuírem sistemas de drenagem de esgotos, apenas 40% da população total do Japão (incluindo a população rural) tem saneamento básico. Inicialmente o programa de reutilização no país providenciou a utilização de águas residuais em edifícios escolares, industriais e outros usos não potáveis. Numa fase posterior passou a existir um sistema duplo, de tratamento e reutilização de águas residuais, o que fez com que o processo fosse mais eficiente e económico que a recuperação de água a título individual. O historial de reutilização no Japão está directamente relacionado com as necessidades urbanas de água, mostrando um bom modelo para cidades de países em desenvolvimento. Relativamente aos parâmetros de qualidade são mais rigorosos para aplicações de uso livre do que por exemplo os EUA. Estas medidas restritas são referentes à protecção rigorosa da saúde pública, evitando a todo o custo que haja a entrada de agentes patogénicos na cadeia alimentar humana.

A Índia é o segundo país com maior população do mundo, onde 30% da população vive em grandes aglomerados urbanos. A elevada poluição dos meios hídricos e o rápido esgotamento das reservas subterrâneas de água na Índia colocaram o país numa posição difícil quanto ao abastecimento de água para a população. Cerca de 50% não tem saneamento básico enquanto 15% da população urbana não tem acesso a água potável. A rega de vegetais para consumo em cru com águas residuais é proibida, mas ainda assim, esta prática está generalizada provocando doenças tais como anemias e gastroenterites entre os agricultores e os consumidores uma vez que não existe qualquer tipo de tratamento para os efluentes (USEPA, 2004).

Na China, em resposta à escassez de recursos hídricos e à poluição produzida principalmente pelas cidades industrializadas, levou o governo chinês a reflectir sobre o tratamento de águas residuais e a sua respectiva reutilização. Neste sentido, os processos de tratamento tem vindo a ser desenvolvidos desde os anos 80, nomeadamente, as tecnologias de membrana, como por exemplo Membrana de BioReactor (MBR), que tem vindo a ser aplicadas em vários projectos nos últimos anos. Ao longo dos últimos 10 anos, cresceu a construção de ETAR no país, onde em 2001 havia 452, das quais 307 possuíam tratamento secundário ou superior sendo que grande parte destas fornece água para aplicações indústrias e urbanas. A cidade de Taiyuan está a implementar um plano ambiental com o objectivo de ampliar a capacidade de tratamento para aproximadamente 900.000 m<sup>3</sup>/dia em 2010. Cerca de 500.000 m<sup>3</sup>/dia desses efluentes tratados serão reutilizados para recarga de aquíferos.

Em alguns países do Golfo Pérsico as águas residuais são alvo de tratamentos bastante avançados, nomeadamente através do processo de dessalinização. A Arábia Saudita é hoje o maior produtor mundial de água dessalinizada, que abrange 70% da procura total. Desde 1985, a Arábia Saudita regulamentou a utilização da água através de um Plano Nacional da Água que prevê a conservação da água, uma maior coordenação entre as políticas agrícola e da água, um maior uso de águas recuperadas e uma melhor coordenação do fornecimento e da distribuição. (USEPA, 2004)



Em Israel como resultado da falta de água, com repetidas secas entre 1996 e 2002, foi desenvolvido um sistema nacional integrado de gestão de recursos hídricos. Existem vários projectos em execução em Israel, sendo que um dos quais consistiu na construção de cerca de 200 reservatórios, com capacidade total de armazenamento de 150 milhões m<sup>3</sup> de água na época de Inverno para depois ser utilizada na época do Verão, onde cerca de 70% das águas residuais urbanas são tratadas e utilizadas na rega. Este volume de água reutilizado representa 10% do consumo de água, prevendo-se que venha a constituir 20% dos consumos no ano 2010. Israel apresenta ainda como objectivo para 2010 reutilizar a maior parte das suas águas residuais (400 milhões m<sup>3</sup>, 20% do total dos recursos hídricos do país) (USEPA, 2004).

O Kuwait, os Emirados Árabes Unidos e o Irão são exemplos de países do Médio Oriente onde a reutilização da água é cada vez mais utilizada, se bem que muitas vezes de forma muito diversa, como o demonstram os casos do Kuwait e do Irão, em que o primeiro dispõe de padrões de qualidade legais obrigando ao tratamento adicional, enquanto o segundo utiliza águas residuais não tratadas (Marecos do Monte, 1996).

#### 3.4.4 AUSTRÁLIA

Na Austrália, nas zonas onde o clima é semelhante ao Mediterrâneo definiu-se metas de 20% para a utilização de águas residuais tratadas até 2012, e nas regiões áridas e semi-áridas definiram metas de 50% a 100%. Nalguns estados, nomeadamente em Mawson Lakes existem projectos em curso como a criação de um sistema de recuperação de água (pluviais e residuais) que diminua a procura de água em 50% para rega de zonas exteriores, domésticas e municipais. Na Virgínia, inclui a rega de culturas hortícolas, incluindo as que podem ser consumidas em cru, com águas residuais tratadas. Já no estado de Vitoria foi desenvolvido um plano director para avaliar em que medida as suas águas residuais poderão compensar as suas carências hídricas (USEPA, 2004).

#### 3.4.5 ÁFRICA

O continente africano, é afectado por uma severa escassez de água em todos os países situados numa faixa que se estende desde o mar Mediterrâneo até ao Sul do deserto do Sahara pelo que é compreensível o esforço que todos os países do norte de África têm desenvolvido no sentido de utilizar as águas residuais dos seus centros urbanos para a agricultura e para usos urbanos não potáveis. Os sistemas de reutilização de água são diferentes de país para país dependem da situação económica existente em cada local.

Em Marrocos, apesar da proximidade ao Oceano Atlântico, o clima é considerado árido a semi-árido, onde cerca de 11,5 mil milhões de m<sup>3</sup> de água são utilizados anualmente, incluindo 3,5 mil milhões de m<sup>3</sup> retirados dos aquíferos, sendo que quase 93% deste montante é utilizado para rega de 1,2 milhões de hectares.

Actualmente o maior projecto de reutilização de água residual encontra-se implementado em Ben Slimane, próximo da cidade de Rabat, cujo tratamento secundário utilizado são as lagoas de estabilização terminando com um processo de desinfecção por cloragem para retirar os agentes patogénicos, para posteriormente ser

usado na rega de campos durante o verão, utilizando cerca de 1.000 m<sup>3</sup>/dia. O país ainda não possui nenhuma regulamentação específica sobre a reutilização de águas residuais e, geralmente, cumpre as recomendações da WHO. Devido à forte migração da população rural para as cidades e à rápida expansão demográfica torna-se essencial melhorar os processos de reutilização de águas residuais e a respectiva qualidade da água (USEPA, 2004).

Em suma, apesar destes desenvolvimentos tecnológicos estarem mais concentrados em diversos países com climas quentes e com escassez de água, é também inevitável envidar esforços nos países onde a disponibilidade de água é considerável, face às crescentes exigências dos licenciamentos de descarga dos efluentes nos meios receptores, protegendo assim o meio ambiente. Neste sentido, deve ser promovida a globalidade na gestão dos recursos hídricos, promovendo, igualmente, a adopção de planos estratégicos, como a implementação de projectos de reutilização de águas residuais e uso eficiente da água, bem como enfrentar novos desafios quanto à melhoria da eficácia destes planos.

## 4

## CATEGORIAS DE APLICAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS TRATADAS

### 4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O tipo de utilização pretendida para as águas residuais tratadas determina o nível e a fiabilidade dos processos de tratamento, tal como influência as medidas de protecção de saúde pública e do ambiente que devem ser considerados no planeamento e elaboração de um projecto.

Contudo, verifica-se que a disponibilidade de água residual tratada varia local e regionalmente quer do seu ponto de vista de quantidade, quer de qualidade a utilizar em cada aplicação, devido às diferenças específicas nos requisitos do uso da água residual tratada, bem como eventuais limitações políticas.

Consequentemente, poder-se-á destacar 7 categorias de reutilização de águas residuais (aqui ordenadas por ordem decrescente de volume utilizado previsto):

- Rega agrícola: representa a categoria onde se consome um maior volume de água residual tratada em todo o mundo. Esta aplicação oferece importantes oportunidades económicas e sociais quer para os países industrializados quer para os países que se encontram em vias de desenvolvimento. No entanto, caso o projecto seja mal planeado e gerido, poderá trazer alguns inconvenientes, podendo incorrer na poluição das águas subterrâneas e superficiais, assim como do solo.
- Rega paisagística: é a segunda categoria que mais utiliza água residual, onde inclui aplicações como a rega de parques, jardins, campos de golfe, canteiros municipais e rodoviários, áreas verdes comerciais, industriais e residenciais. A reutilização de águas residuais neste tipo de aplicação tem funcionado com sucesso em muitos países, sem atrair qualquer tipo de contestação. No entanto, devem ser cuidadosamente executada com o intuito de evitar problemas ao nível da saúde pública (Urkiaga & De las Fuentes, 2004; Vignesgaran & Sundaravadivel, 2004).
- Actividades industriais: representa a terceira categoria onde se aplica água residual tratada, tendo verificado um crescimento desde a década de 90, principalmente na indústria de papel, têxtil e centrais térmicas. A sua utilização mais comum refere-se ao arrefecimento de sistemas industriais (torres de arrefecimento), uma vez que estes sistemas implicam um grande consumo de água. No entanto, existem múltiplas utilizações industriais, cujos requisitos de qualidade são especificados consoante o

tipo de indústria a que se aplicam. Com o intuito de se obter uma qualidade de água pretendida, poderão ser necessários tratamentos adicionais em complemento do tratamento secundário convencional. Esta situação permite a minimização de problemas, como, por exemplo, a redução da corrosão e a formação de incrustações no interior das torres de arrefecimento.

- Recarga de aquíferos: é a quarta categoria na qual a água residual tratada é mais utilizada, baseando-se no aumento planificado dos recursos hídricos subterrâneos. A recarga de aquíferos inclui o reabastecimento por assimilação, o armazenamento da água residual tratada e o estabelecimento de barreiras hidráulicas contra intrusão salina nas regiões costeiras. Como a recarga das zonas subterrâneas são uma possível fonte de água potável, a recarga de aquíferos com águas residuais recuperadas implica níveis de tratamento mais avançados do que o tratamento secundário convencional.
- Recreação ambiental: esta categoria inclui utilizações não potáveis, tais como o desenvolvimento de ambientes recreativos e estéticos, aumento dos caudais nos cursos de água e criação de zonas húmidas naturais e artificiais para uma variedade de utilizações incluindo: criação e/ou restauro de diferentes tipos de habitat. Na elaboração deste tipo de projectos uma das prioridades é estabelecer o tratamento adicional adequado ao efluente antes de ser descarregado no meio receptor. Não menos importante é escolha das espécies de fauna e flora que irão habitar aquele meio ambiente artificial (Urkiaga & De las Fuentes, 2004; USEPA, 2004).
- Utilização urbana e não urbana: representa a sexta categoria nesta hierarquia, e inclui utilizações como: lavagem de veículos, protecção contra incêndios, lavagem de pavimentos e para fins higiénicos. Tipicamente, por razões económicas, esta categoria é implementada quando a razão custo/benefício é razoável. A água residual que é usada nesta aplicação tem de cumprir rigorosos critérios de qualidade de modo a assegurar a protecção da saúde pública (Urkiaga & De las Fuentes, 2004; USEPA, 2004; Vigneswaran & Sundaravadivel, 2004);
- Reutilização para produção da água potável: é a categoria onde é usado menor volume de águas residuais tratadas. É de referir, que esta categoria não é recomendada pela WHO, uma vez que esta organização considera uma alternativa de alto risco para a saúde pública, sendo que a sua implementação só é recomendada em situações extremas (Takashi, Ph., & P., 1999).

É de salientar, que todas estas categorias devem seguir critérios, tais como: higiene, segurança, tolerância ambiental e social, aceitação e sensibilização da população, para além de um inevitável estudo técnico/económico para assegurar a sua viabilidade.

Como conclusão referir, que, no presente estudo, as categorias de aplicação seleccionadas para reutilização de água residuais são a rega de espaços verdes na região de Ermesinde, uma vez que esta freguesia apresenta uma vasta área de espaços verdes, logo considerou-se interessante analisar um projecto desta natureza. Outro

ponto de aplicação destina-se à utilização de águas residuais tratadas na lavagem de veículos na região de Campo, pois encontra-se dentro da categoria que se perspectiva como de desenvolvimento mais imediato em Portugal. Estas categorias serão alvo de um estudo detalhado nos capítulos e subcapítulos subsequentes, pretendendo-se resumir os aspectos legais, ambientais, técnicos e económicos que definem uma linha orientadora essencial para o sucesso de um projecto desta natureza.

## 4.2 REGA DE ESPAÇOS VERDES

Qualquer projecto que recorra à utilização de águas residuais tratadas para uma determinada aplicação, devem estar sustentados numa base normativa e regulamentar que assegure a disponibilidade de águas residuais devidamente tratadas sem correr qualquer risco. Por esta razão, a NP 4434-2005 é um dos bons exemplos a seguir, no que refere à reutilização de águas residuais.

Esta NP 4434-2005 representa um importante contributo para a prática sustentável da utilização de águas residuais tratadas para rega, definindo os seus requisitos de qualidade, os critérios a seguir na escolha dos processos e equipamento de rega a usar, os procedimentos a adoptar na execução da rega com vista a assegurar a protecção da saúde pública e do ambiente e os procedimentos de monitorização ambiental da zona potencialmente afectada por essa rega. É aplicada exclusivamente à reutilização de águas residuais urbanas, sujeitas a tratamento em ETAR, na rega de culturas agrícolas, florestais, viveiros, relvados e outros espaços verdes.

De seguida, aborda-se de forma resumida os principais requisitos necessários à aplicação desta prática. (NP4434, 2005)

### 4.2.1 QUALIDADE DAS ÁGUAS RESIDUAIS TRATADAS PARA REGA

A qualidade da água a utilizar na rega deve satisfazer as exigências impostas pela legislação em vigor, relativamente às suas características físico-químicas e microbiológicas, ser adaptada à cultura regada e adequada ao processo e equipamento utilizado.

#### 4.2.1.1 *Características Físico-Químicas e Microbiológicas*

Os valores máximos recomendados (VMR) a cumprir no sentido de se obter uma qualidade das águas residuais em condições ideais em termos físicos, químicos e microbiológicos, estão referidos no Anexo XVI do Decreto-lei nº236/98, de 1 de Agosto e reproduzidos no Anexo A. Os parâmetros físico-químicos referidos, neste Decreto-Lei, como limitantes da qualidade da água para rega (isto é, pH, salinidade, razão de adsorção de sódio [RAS] e SST), não devem ultrapassar os correspondentes VMR. Relativamente, aos parâmetros de natureza microbiológica, para além das restrições relativas à presença de coliformes fecais e ovos de parasitas intestinais, deve-se, igualmente, atender às recomendações estabelecidas no âmbito da NP 4434-2005.

#### 4.2.1.2 Métodos, Processos e Tipos de Rega

Actualmente, podem-se considerar 3 métodos de rega implementados em Portugal, cuja denominação se refere à rega por escoamento, rega por infiltração e rega por aspersão. É de notar que a escolha por um destes métodos deverá compreender factores como: a qualidade físico-química e microbiológica da água pretendida; o tipo de cultura a regar; e os condicionalismos específicos da zona onde se localiza a instalação de rega (características do solo, topografia, hidrogeologia e proximidade de zonas habitacionais).

Preferencialmente, dever-se-á optar por processos de rega que minimizem os riscos de escoamento superficial e o transporte pelo vento de aerossóis<sup>2</sup>. Neste sentido, são considerados vantajosos todos os processos de rega por gravidade (incluídos na “rega por escoamento”) e, em particular, os tipos de rega em pressão, nomeadamente, a rega subterrânea e a rega gota-a-gota (englobados na “rega por infiltração”). Por outro lado, o processo denominado por rega de aspersão leva a formação de aerossóis, devido ao seu elevado grau de pulverização, o que poderá implicar riscos acrescidos para a saúde pública.

A título de exemplo, na Figura 6, encontram-se representados a rega gota-a-gota e por aspersão, respectivamente.



**Figura 6** – Exemplos de processos de rega, do lado esquerdo encontra-se representada rega gota-a-gota e do lado direito a rega por aspersão.

#### 4.2.2 CARACTERÍSTICAS DA ÁREA A REGAR

##### 4.2.2.1 Características Físico-Químicas do Solo

Os solos a regar devem ter características físicas (textura, profundidade, capacidade de retenção de água etc.) e químicas (pH, salinidade, teor de nutrientes e elementos poluentes, entre outros) compatíveis com a sua utilização em regadio. É de notar que, somente, os solos que apresentem teores de metais pesados (cádmio (Cd), chumbo (Pb), cobre (Cu), crómio (Cr), mercúrio (Hg), níquel (Ni) e zinco (Zn)) superiores aos valores apresentados na Tabela 3 deverão ser excluídos.

<sup>2</sup> Partículas líquidas de dimensão inferior a 50 µm em suspensão no ar.

**Tabela 3** – Valores Máximos Admissíveis (VMA) para as concentrações de metais pesado nos solos a regar com águas residuais tratadas (mg/kg solo seco) (NP4434-2005).

Metal	pH do solo		
	< 5,5	5,5 a 7,0	>7,0*
Cd	1	3	4
Pb	50	300	450
Cu	50	100	200
Cr	50	200	300
Hg	1	1,5	2
Ni	30	75	110
Zn	150	300	450

\* Não aplicável no caso de culturas destinadas a consumo humano ou a pastagens.  
Para estas culturas aplicam-se os valores referentes aos solos com valores de pH entre 5,5 e 7,0.

#### 4.2.2.2 Afastamento em Relação a Zonas Habitacionais e Origens da Água

Existem, igualmente, valores de referência no que diz respeito à distância mínima entre o limite da zona regada, ou local de armazenamento das águas residuais tratadas, e zonas com ocupação humana permanente. Esta distância depende da concentração de coliformes fecais nas águas residuais e do método de rega, cujos valores de referência se encontram representados na Tabela 4.

**Tabela 4** – Distância mínima, em metros, entre o limite da zona regada e zonas com ocupação humana permanente.

Método de rega	Tipo de zona habitada	Concentração de Coliformes Fecais nas Águas Residuais Tratadas		
		$\leq 2 \times 10^2$ UFC/100 ml	$2 \times 10^2 < \text{UFC}/100 \text{ ml} \leq 10^3$	$> 10^3$ UFC/ 100 ml
Rega por aspersão	Habitacões isoladas	30 m	60 m	70 m
	Zonas habitacionais	50 m	80 m	100 m
Outros métodos de rega	Habitacões isoladas	10 m	20 m	30 m
	Zonas habitacionais	30 m	60 m	70 m

Estas distâncias deverão ser cumpridas de modo a garantir a minimização do risco de ocorrência de doenças potencialmente transmissíveis e evitar possíveis maus cheiros associados ao seu armazenamento.

É de referir, que os limites apresentados na Tabela 4 não se referem ao método de rega gota-a-gota, pois a sua aplicação não necessita de garantir qualquer afastamento. No caso da existência de captações de água para abastecimento público nas proximidades das zonas regadas, dever-se-á, igualmente, assegurar um afastamento mínimo de 100 m, devendo, em qualquer caso, respeitar a legislação em vigor.

### 4.2.2.3 Culturas Susceptíveis de Utilização

É possível regar com águas residuais tratadas diferentes tipos de cultura que podem ser agrupados em quatro classes:

- Classe A – culturas hortícolas para consumo em cru;
- Classe B – relvados, parques e jardins públicos, zonas florestadas com fácil acesso para o público;
- Classe C – culturas hortícolas para consumo após confecção, culturas forrageiras, vinha e pomares;
- Classe D – culturas hortícolas para laboração industrial, culturas destinadas à produção de matérias-primas para as indústrias têxtil, de extracção de óleos e essências vegetais e similares, culturas florestais e relvados situados em locais de difícil acesso para o público.

De salientar, que todas as culturas hortícolas, cujos alimentos são consumidos em cru, caso as partes comestíveis estejam em contacto directo com o solo, não são susceptíveis de serem regadas com águas residuais tratadas.

A possibilidade de regar com águas residuais tratadas os diferentes tipos de cultura, incluídos nas classes anteriormente mencionadas, depende do tipo de tratamento aplicado às águas residuais, em conformidade com o definido na Tabela 5.

**Tabela 5** - VMA para os parâmetros de qualidade microbiológica das águas residuais tratadas para reutilização em rega e esquemas de tratamento adequados.

Classes	Coliformes Fecais (NMP /100 ml)	Ovos de parasitas entéricos (ovos/l)	Esquemas de tratamento adequados	Observações
A	100	1	Secundário→Filtração→Desinfecção Ou Terceário→Filtração→Desinfecção	Desinfecção por UV* ou por Ozonização preferíveis à Cloragem
B	200	1	Secundário→Filtração→Desinfecção Ou Terceário→Filtração→Desinfecção	Desinfecção por UV* ou por Ozonização preferíveis à Cloragem. A rega deve ser efectuada de modo a evitar contacto com o público.
C	1000	1	Secundário→Filtração→Desinfecção Ou Terceário→Filtração→Desinfecção Ou Lagunagem (Sistema com 3 ou mais lagoas e $t_R \geq 25$ dias)	Desinfecção por UV* ou por Ozonização preferíveis à Cloragem. A rega de vinha e pomares deve ser efectuada de modo a evitar o contacto com os frutos. Não devem ser aproveitados os frutos caídos no solo.
D	10000	1	Secundário→Lagoas de maturação ( $t_R \geq 10$ dias) Ou Secundário→Filtração→Desinfecção	Desinfecção por UV* ou por Ozonização preferíveis à Cloragem. A rega deve ser efectuada de modo a evitar contacto com o público.

\*lâmpadas com auto-limpeza

**Nota:**  $t_R$  – tempo de retenção



#### 4.2.3 MINIMIZAÇÃO DOS IMPACTES AMBIENTAIS E DOS RISCOS PARA A SAÚDE PÚBLICA

Para além das exigências relativas ao nível de qualidade das águas residuais tratadas e das limitações impostas pelo tipo de cultura, de rega, de equipamento e das características do local, dever-se-á adoptar procedimentos de forma a minimizar possíveis riscos, como a contaminação das águas subterrâneas com águas residuais escoadas superficialmente ou infiltradas no solo. Igualmente, dever-se-á impedir o arrastamento pelo vento de gotas de água e sua subsequente deposição em plantas ou solos situados fora da zona a regar e, por fim, não permitir a inalação, por pessoas ou animais, de aerossóis produzidos pelo equipamento de rega. Desta forma, serão necessárias tomar algumas medidas como as que a seguir se enumeram:

- Sinalização: a zona a regar deverá estar devidamente sinalizada de forma a permitir a imediata constatação de que se trata de uma zona sujeita à rega com águas residuais tratadas.
- Órgãos de comando e controlo: os órgãos de comando e de controlo dos sistemas de rega deverão ser instalados de forma a impedir a sua operação por pessoas estranhas à instalação.
- Realização das regas: as regas deverão ser efectuadas sempre fora do horário de acesso do público. Uma vez que o risco de contacto é elevado quando é utilizado instalações de rega por aspersão, deve-se, então proceder à mediação da velocidade do vento, com o auxílio de um anemómetro amovível, sendo que a rega não deve ser iniciada se se observar a ocorrência de vento suficientemente forte para provocar o arrastamento das gotículas para fora da zona a regar. Pelo contrário, nos sistemas de rega gota-a-gota e subterrânea o risco de contacto é muito reduzido.
- Medidas de protecção da área envolvente: a área regada deverá ser isolada das zonas habitacionais por meio de cortinas de protecção, como sebes ou arbustos, com altura e constituição adequada à função pretendida e ao tipo de rega em causa. Estas cortinas de protecção deverão ser densas e o mais contínuas possível, em especial durante a campanha de rega. São particularmente adequadas a esta função protectora as espécies pratenses não leguminosas.

#### 4.2.4 CONTROLO E MONITORIZAÇÃO

Outro requisito de aplicação, igualmente, importante é a consideração do controlo e monitorização da rega. De seguida, procede-se à enumeração de alguns pontos considerados essenciais ao seu desenvolvimento.

##### 4.2.4.1 Controlo da Instalação

O controlo das quantidades de nutrientes e de metais pesados aplicados ao solo dever-se-á basear no balanço desses elementos na parcela em análise. Este cálculo consiste na determinação do volume de água residual aplicado e dos valores da concentração dos nutrientes e metais pesados nessas águas, durante o período em questão, e tendo em conta as quantidades de fertilizantes aplicados.

No sentido de permitir a integração das quantidades de nutrientes veiculadas pelas águas de rega nos cálculos inerentes à fertilização convencional, as entidades gestoras responsáveis pela instalação de rega deverão possuir documentos como:

- Mapa de Registo de Nutrientes e Metais Pesados Aplicados ao Solos (Tabela 74 e 75 – Anexo B), onde são registados os volumes de água aplicados e as quantidades respectivas de nutrientes e metais pesados aplicadas ao solo em cada uma das parcelas incluídas na área regada. O registo do volume de água aplicado deverá corresponder aos consumos totais diários e ao cálculo das quantidades de nutrientes e metais pesados. Este mapa deverá ser realizado, apenas, no final do período de utilização de uma dada água;
- Plano de Fertilização referente à Totalidade da Área. Este Plano integra um conjunto de documentos que contêm a informação relativa ao esquema de fertilização adoptado para a zona a regar (vidé Tabela 76 e 77 – Anexo B). Nele deverão constar os tipos, quantidades e épocas de aplicação dos fertilizantes a utilizar, com vista a satisfazer as necessidades nutritivas das culturas, a previsão dos volumes de água a aplicar ao longo do ciclo vegetativo destas e a estimativa das quantidades de nutrientes (N, P e K) que deverão ser introduzidas no solo através da rega.
- Boletins de Análise referentes à água utilizada na rega, os quais deverão estabelecer os valores de todos os parâmetros que caracterizam a qualidade mínima de uma água para rega, tal como especificado na legislação em vigor (Tabela 78 – Anexo B);

#### 4.2.4.2 Monitorização

A entidade responsável pela instalação da rega deverá dispor de um Plano de Monitorização Ambiental. Este documento deverá conter toda a informação relativa ao esquema de monitorização posto em prática na instalação, incluindo, nomeadamente, a identificação dos meios hídricos, as metodologias a seguir na recolha de amostras de solos e de águas residuais, a localização dos locais onde a monitorização deve ser realizada, as determinações a efectuar e a periodicidade das mesmas.

A Tabela 6 descreve a monitorização e respectiva periodicidade que deve ser efectuada aquando da utilização de águas residuais para rega.

**Tabela 6 – Monitorização e respectiva periodicidade aquando da utilização de águas residuais para rega.**

	Monitorização	Periodicidade
<b>Águas Residuais</b>	Fornecimento das águas residuais tratadas é responsabilidade da entidade gestoras da ETAR	Periodicidade mínima semanal nas determinações dos parâmetros do pH, salinidade, azoto total e inorgânico e fósforo.
	Quando é necessário armazenar ou efectuar um tratamento complementar a jusante da ETAR, o controlo da qualidade da água para rega cabe à entidade responsável por esse armazenamento ou tratamento.	
<b>Solo</b>	A pessoa ou entidade responsável pela instalação de rega deve garantir o arquivo dos resultados das determinações efectuados ao solo.	Análises anuais aos parâmetros fósforo e potássio assimiláveis, matéria orgânica e pH. Os teores, no solo, de cádmio, cobre, níquel, zinco, mercúrio e cromo devem ser analisados, no mínimo, em cada cinco anos. Caso a concentração destes metais esteja próxima dos valores-limites impostos na legislação a análise deve ser feita anualmente ou em cada dois anos. Sempre que conveniente deve ser determinada a salinidade do solo.
<b>Meios Hídricos</b>	A entidade ou pessoa responsável pela zona a regar deve verificar a qualidade dos meios hídricos através da instalação de piezómetros, garantindo o arquivo dos boletins de análise.	No início e no final da época de rega a determinação da salinidade da água através da medição da condutividade eléctrica e a medição da profundidade dos níveis freáticos deve ser efectuada, deve ser realizada no mínimo mensalmente. Também no início e no final de cada época de rega deve ser determinado o azoto nítrico e total nas amostras de água recolhidas nos piezómetros e de origens de água localizadas nas parcelas regadas e área envolvente

### 4.3 LAVAGEM DE VEÍCULOS

A reutilização de águas residuais na lavagem de veículos é uma solução que, em Portugal, apresenta um maior sucesso na zona Sul do País, este facto decorre da elevada temperatura e da baixa precipitação verificada durante todo o ano. Contudo, o facto da região Norte, na actualidade, apresentar uma situação confortável no que respeita à disponibilidade de recursos hídricos, não significa que se deva negligenciar uma conservação e planeamento controlado dos recursos hídricos.

Contrariamente ao que se verifica na aplicação das águas residuais tratadas à categoria de rega, para a lavagem de veículos não se encontra definido, a nível nacional, um suporte legal no domínio da concepção, implementação e exploração deste tipo de actividade. Contudo, verifica-se a existência de orientações institucionais nesta matéria nos EUA e na Austrália.

No presente subcapítulo serão apresentados alguns aspectos técnicos associados ao tipo tratamento utilizado na água residual, antes e depois, da sua utilização na lavagem de veículos. Igualmente, serão descritos processos de reutilização de água, com ou sem recirculação (entenda-se por “Sistema de lavagem de veículos com recirculação do efluente”, aquele que compreende um ciclo contínuo dentro do mesmo centro de lavagem de veículos, e por “Sistema de lavagem de veículos sem recirculação do efluente”, aquele, cujo efluente retorna à ETAR após ser utilizado, não existindo recirculação dentro do centro de lavagem de veículos). Por fim, serão descritos os tipos de sistemas de lavagem de veículos, referidas algumas características dos produtos de

limpeza que devem ser usados, aquando da utilização de águas residuais, e mencionadas as características dos efluentes gerados.

#### 4.3.1 TIPOS DE SISTEMAS DE LAVAGEM DE VEÍCULOS

Cada centro de lavagem de veículos inclui diferentes tipos e operações, cada uma com necessidades e características próprias. Variam consoante o volume de água utilizado, carga de contaminantes e substâncias químicas nos processos de lavagem. Normalmente são divididos por três tipos: dois automáticos (Pórtico e Túnel) e um manual (Lavagem manual) (Energia, 2007).

**Pórticos:** nos Pórticos, o veículo não se movimenta, mas sim o equipamento de lavagem. O veículo é colocado no centro do Pórtico e este último movimenta-se para a frente e para trás, para realização de todo o processo de lavagem. O efluente gerado é colectado numa vala situada abaixo do sistema (vidé Figura 7).



**Figura 7** - Lavagem de veículos tipo Pórtico.

**Túneis:** Nos túneis o veículo é puxado por uma correia transportadora através de um túnel onde estão instalados diversos detectores que activam as várias fases de lavagem e os sinais que informam o operador de lavagem em que fase se encontra o processo. Os túneis são sempre assistidos por um sistema de lavagem que efectua a pré-lavagem do veículo antes de iniciar qualquer programa de lavagem (vidé Figura 8).



**Figura 8** - Lavagem de veículos tipo Túnel.

**Lavagem Manual:** Neste tipo de sistema, o veículo normalmente é lavado com jactos de uma mangueira, com pressões de ar e água pré-definidas. Também utilizam um bico que pulveriza a água em leque, dando origem a que se consuma a água apenas estritamente necessária, além do mais, assim minimiza a ocorrência de aerossóis. No decorrer da lavagem, toda a água vai sendo colectada numa vala. Os produtos de limpeza utilizados neste tipo de sistema variam consoante as pretensões da empresa (vidé Figura 9).



**Figura 9** - Lavagem manual de veículos.

Na Tabela 7, estão representados dados de um estudo efectuado, que indicam o volume de água gasto consoante o tipo de sistema de lavagem de veículos usado. O facto de os volumes consumidos para a lavagem de veículos em casa serem consideravelmente elevados, quando comparado com os restantes tipos, pode ser justificado pela má gestão da água, utilizando-a de forma pouco eficiente e controlada, ao contrário do que sucede nos centros de lavagem especializados.

**Tabela 7** – Consumo de água (Vasquez, Alfonsin, & Mohr, 1999).

Tipo de lavagem de carro	Volume consumido (l/veículo)
Lavagem manual	30 - 45
Túnel	57 - 121
Pórtico	91 - 170
Lavagem em casa	302 - 530

#### 4.3.2 TIPOS DE TRATAMENTO COMPLEMENTAR

A escolha do processo de tratamento da água residual a ser adoptado é de fundamental importância para o sucesso do empreendimento e, por isso, esta deve ser criteriosa e fundamentada na boa caracterização do efluente a tratar, no conhecimento das técnicas de tratamento existentes e nas necessidades e requisitos de qualidade da aplicação da reutilização proposta.

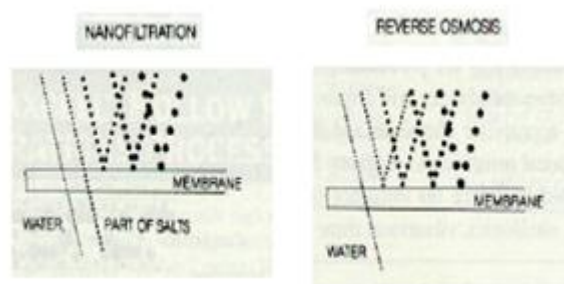
Neste sentido, serão definidos os processos complementares mais utilizados, depois da água residual tratada sair da ETAR, com o objectivo de obter uma melhor qualidade para o efluente a usar. Este efluente, para além do tratamento que é sujeito nas ETAR, poderá, caso seja necessário, sofrer outras etapas com vista à remoção

dos sólidos dissolvidos totais (SDT) obtendo uma água desmineralizada. Este procedimento pode ser obtido por técnicas por membrana e processos por troca iónica.

No que diz respeito, aos processos de membrana, existem quatro categorias de membrana, cuja classificação varia consoante a diminuição da dimensão dos poros, ou seja, microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose inversa, respectivamente. O efeito de diminuir o tamanho dos poros tem uma influência sobre o desempenho da membrana e sobre a qualidade do efluente filtrado, vidé Figura 10.

As membranas de microfiltração apresentam poros de 0,1 - 5  $\mu\text{m}$ , já os de ultrafiltração são de 0,005 - 0,1  $\mu\text{m}$ , enquanto a nanofiltração e a osmose inversa, normalmente, os poros apresentam uma dimensão de 0,001 - 0,01 e 0,0001 - 0,001  $\mu\text{m}$ , respectivamente (Till & Mallia; 2001; Vitoria, 2002).

Para este tipo de aplicação, as membranas mais usadas são as de nanofiltração e osmose inversa, no entanto, as membranas por nanofiltração são mais eficazes na remoção de iões bivalentes, enquanto as membranas por osmose inversa são, extremamente eficazes na eliminação de iões monovalentes, como sais dissolvidos (Marecos do Monte & Albuquerque, 2009). O uso desta membrana requer, normalmente, uma elevada pressão para o efluente ultrapassar a membrana, originado um alto consumo de energia, porém resulta numa elevada eficiência na remoção dos sais dissolvidos (USEPA, 2004; De Koning et al., 2006).



**Figura 10** – Sistemas de processos membrana (Till & Mallia, 2001).

O processo de troca iónica consiste em remover praticamente todos os iões presentes numa água, neste caso numa água residual tratada, através de resinas catiónicas e aniónicas. Consegue-se a desmineralização de uma água ao passá-la por colunas de resinas catiónicas na forma  $\text{H}^+$  e aniónicas na forma  $\text{OH}^-$ , separadamente, ou então, numa só coluna que contenha este dois tipos de resinas (leito misto). Dado que as resinas aniónicas são menos resistentes que as resinas catiónicas, estas devem ser primeiramente atravessadas pela água, de forma a protegerem as resinas aniónicas, funcionando como um filtro para certos constituintes prejudiciais às resinas aniónicas. O funcionamento de um sistema de troca iónica é simples, e promove a regeneração da própria resina que é utilizada. Esta etapa de tratamento resulta em baixas concentrações de sais dissolvidos totais, e é essencial para a melhoria da eficácia do processo (Remco).

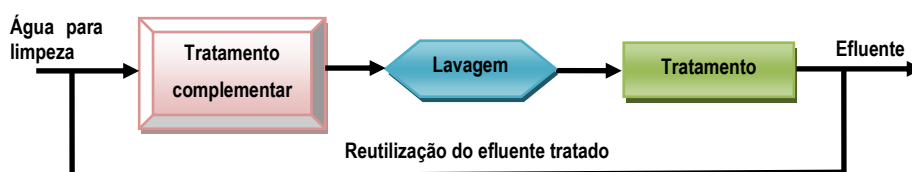
Estes processos podem ser acoplados sucessivamente, formando sistemas de tratamento muito eficazes na remoção dos sólidos dissolvidos totais, evitando a formação de manchas nos veículos.

#### 4.3.3 PRODUTOS DE LIMPEZA USADOS NA LAVAGEM DE VEÍCULOS

Existem diversos produtos que podem ser usados na lavagem de veículos, com diferentes características e também com diferentes níveis de toxicidade para o meio ambiente. Na implementação de um sistema de lavagem de veículos, quer seja com água residual tratada quer seja com água potável, a selecção de um bom produto de limpeza, que não cause danos ao veículo e ao meio ambiente são parâmetros a serem analisados previamente. No mercado existem diversos produtos de limpeza, como detergente catiónicos e aniónicos, champô, sabão, ceras, entre outros, e também produtos de limpeza que na sua composição apresentam petróleo, no entanto, actualmente o mais aconselhado é a utilização de sabão biodegradável com pH neutro, rotulados “não tóxico” e livres de fosfato. O sabão biodegradável diminui a carga total de poluentes, impede o crescimento de bactérias e algas, inibe a corrosão e não deteriora a qualidade do efluente gerado (Oknich, 2002). De uma forma geral, a utilização de um tipo de produto de limpeza vai influenciar as características do efluente gerado, podendo, caso o produto de limpeza não seja o mais indicado, apresentar grandes quantidades de óleos e graxas, sólidos em suspensão, metais pesados, aditivos e alguns resíduos (FDEP, 2005).

#### 4.3.4 TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DO EFLUENTE GERADO

Actualmente, existem dois tipos de sistemas de lavagem de veículos, onde difere o tratamento do efluente gerado. Um desses tipos de sistema, refere-se ao “sistema de lavagem de veículos com recirculação do efluente”, ou seja, como já foi referido, o efluente depois de usado, para ser novamente utilizado com as condições desejadas, terá forçosamente de sofrer um tratamento complexo, semelhante ao existente nas ETAR, mas dentro do próprio sistema de lavagem, como se pode ver no esquema da Figura 11. Os valores obtidos, depois do tratamento devem ser muito próximos aos expostos na Tabela 8.

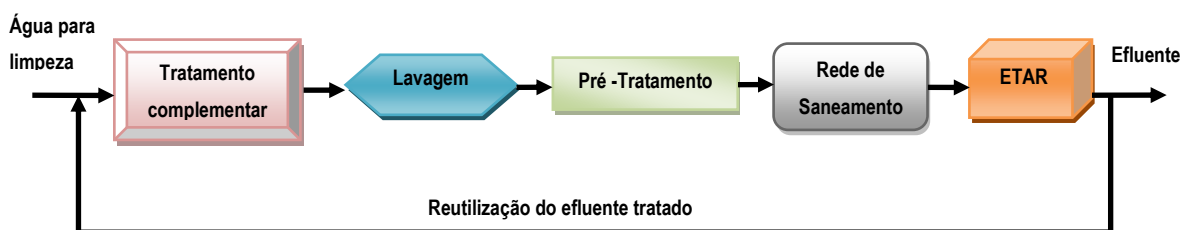


**Figura 11** - Representação esquemática de um “sistema de lavagem de veículos com recirculação”.

**Tabela 8** – Níveis de qualidade da água residual aplicada à lavagem de veículo, na Austrália (Water, 2009)

Parâmetro	Valor registado
E.Coli (NMP/100 mL)	61
NT (mg/L)	12
PT (mg/L)	9
CBO <sub>5</sub> (mg/L)	3
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	14
pH	6 - 9

Existem outros tipos de sistema que são usados com bastante frequência, nos centros de lavagem de veículos, compostos por tratamentos mais simples, denominado pré-tratamento, onde os efluentes gerados, depois desta fase de pré-tratamento, são descarregados na rede de saneamento para serem tratados na ETAR. Neste caso, como já foi referido, não ocorre recirculação do efluente dentro do sistema de lavagem como sucede no caso anterior, ver esquema da Figura 12. O objectivo da etapa de pré-tratamento, antes da descarga na rede de saneamento, é baixar o nível de óleos/gorduras e areias no efluente, de forma a evitar uma possível contaminação das águas subterrâneas. Os valores normalmente atingidos, antes da descarga na rede de saneamento, são próximos dos expostos na Tabela 9.


**Figura 12** - Representação esquemática de um “sistema de lavagem de veículos sem recirculação”.

**Tabela 9** - Representação dos valores dos parâmetros aquando da descarga na rede de saneamento (Vasquez, Alfonsin, & Mohr, 1999).

Parâmetro	Valores registados
CBO <sub>5</sub> (mg/L)	1000
CQO (mg/L)	1750
Óleos (mg/L)	100
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	1000
pH	6 - 9

Estes dois tipos de sistema de lavagem de veículos também diferem, relativamente, sobre a percentagem de água residual utilizada, uma vez que os “sistemas de lavagem de veículos com recirculação do efluente”, para apresentarem uma maior eficácia, devem usar uma percentagem de água residual à volta dos 75%, sendo necessário acrescentar entre 23 a 25% de água potável (Al-Odwani, Ahmed, & Bou-Hamad, 2006). Em contrapartida, os “sistemas de lavagem de veículos sem recirculação do efluente” podem utilizar 100% de água residual, usando, apenas, água potável para questões de limpeza e manutenção.



No que diz respeito aos “sistemas de lavagem de veículos sem recirculação do efluente”, o tipo de pré-tratamento mais usado é o separador de hidrocarbonetos com decantador incorporado. Este tratamento é destinado a separar e reter os óleos em suspensão nas águas sujas, sendo que a função do decantador, que precede ao separador de hidrocarbonetos, é reter as partículas mais grossas. O separador de hidrocarbonetos com decantador incorporado, vidé Figura 13, inicia primeiramente a decantação, na qual se depositam as matérias mais pesadas como por exemplo a areia arrastadas pelas águas sujas. Seguidamente as águas carregadas de óleos passam no separador de hidrocarbonetos através de uma ligação que une os dois compartimentos. Nesta fase, os efluentes são armazenados numa câmara durante um período de tempo que possibilite que as gotículas de óleo, com densidade menor que a água, formem uma camada na superfície do líquido. A separação óleo/água pode ser realizada manualmente ou mecanicamente, para uma outra unidade, enquanto a água segue em direcção à rede de saneamento. Deve existir uma válvula de segurança situada na parte inferior do tubo de saída, fechando quando o volume de gordura for superior ao volume de água. Neste processo a adição de produtos químicos não é necessária. (Hidro Water, 2002)



**Figura 13** - Demonstração de um separador de hidrocarbonetos pré-fabricado (secção do lado direito) com decantador incorporado (secção do lado esquerdo).

Sobre as tecnologias usadas para tratamento de água nos “sistemas de lavagem de veículos com recirculação do efluente” existem as combinações entre os métodos da filtração, sedimentação, tratamento biológico e flutuação, que podem ser denominadas de ETAR em pequena escala. No entanto, podem existir problemas no que diz respeito à filtração, uma vez que os poluentes presentes nesta água residual são muito finos e portanto de difícil remoção (FDEP, 2005). A adopção destes sistemas, uma vez que apresenta tratamentos mais complexos, traduz em maiores custos para a empresa, nomeadamente ao nível do investimento inicial, assim como de manutenção, operação e de energia (Al-Odwani et. al, 2006).



## 5

## PROCEDIMENTOS TÉCNICOS

Neste capítulo são descritos os procedimentos técnicos usados no presente trabalho. Numa primeira fase, procede-se à descrição dos processos adicionais de tratamento que o efluente pode sofrer, sendo que numa segunda fase se expõem os sistemas de distribuição e armazenamento da água residual tratada, assim como, as condições hidráulicas em que se processa o seu transporte.

### 5.1 PROCESSOS ADICIONAIS DE TRATAMENTO

Sem pretensões de descrever de forma exaustiva todos os princípios de funcionamento dos processos de tratamento enumerados em seguida, pretendendo-se incidir, preferencialmente, sobre os objectivos de cada operação e respectiva eficiência.

Os níveis de tratamento a que as águas residuais podem ser submetidas na ETAR, com vista à remoção de poluentes, classificam-se geralmente por pré-tratamento, tratamento primário, secundário e terciário, por ordem crescente de eficiência de remoção de poluentes.

Juntamente com a remoção de poluentes também ocorre a eliminação de uma parte, geralmente reduzida, dos organismos patogénicos presente nas águas residuais. É de salientar, que na União Europeia a solução mais comum é o tratamento secundário através de sistemas de lamas activadas, o que produz um efluente com qualidade suficiente para ser rejeitado nos meios receptores, mas não para ser utilizado na maioria dos usos possíveis com águas residuais tratadas, anteriormente referidos. Logo, de forma a ser possível esta reutilização de águas residuais, de modo a salvaguardar a saúde pública, é necessário proceder a um tratamento denominado adicional ou tratamento de afinação. Neste sentido, é importante considerar os processos de tratamento adicionais que permitam uma remoção eficiente dos organismos patogénicos, nomeadamente bactérias, vírus, ovos de helmintas e cistos protozoários.

Actualmente, os processos considerados de tratamento adicional mais utilizados visando a destruição e/ou inactivação destes organismos patogénicos são (Asano, 2001):

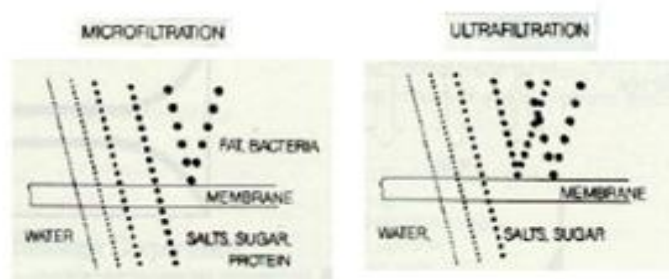
- Processos de filtração por membrana, de modo a melhorar a eficiência do processo global, através da remoção de SST (>3 mm) e de uma pequena quantidade de organismos patogénicos;
- Processos de desinfecção.

Os sistemas de membrana de Bio-Reactor, não são considerados tratamentos adicionais, pois apresentam como principal objectivo o facto de promoverem o tratamento biológico de forma a remover compostos carbonáceos e azotados. No entanto, poder-se-á referir que este processo possibilita uma rigorosa filtração (poros de reduzidas dimensões) permitindo, igualmente, a remoção de organismos patogénicos.

#### 5.1.1 PROCESSOS DE FILTRAÇÃO POR MEMBRANA

No que refere aos processos de filtração por membrana a microfiltração das águas residuais é considerada a tecnologia mais viável, reduzindo eficazmente as partículas, bactérias, uma grande variedade de vírus, algas e protozoários. O facto de reter grande quantidade de protozoários e vírus, aufere a esta categoria uma grande vantagem em relação às restantes (Vitoria, 2002). Também a ultrafiltração possui capacidade para remover alguns tipos de microrganismos, tais como *Cryptosporidia* e *Giardia* (vidé Figura 14).

Em suma, a aplicação dos processos por membrana, para a reutilização de águas residuais, são considerados como um tratamento prévio, pois removem grandes quantidades de poluentes, originando um efluente, apenas, com organismos patogénicos que serão removidos com maior eficácia através de processos de desinfecção (Metcalf & Eddy, 2003; Stephan et al, 2007).



**Figura 14** – Sistemas de processos membrana (Till & Mallia, 2001).

#### 5.1.2 PROCESSOS DE DESINFECÇÃO

Os processos de desinfecção, num sistema de utilização de águas residuais, tem como objectivo melhorar a qualidade microbiológica do efluente e impedir riscos para a saúde humana. Qualquer desinfectante utilizado, para além de eliminar a presença de organismos patogénicos tem, igualmente, como objectivo evitar a introdução e/ou formação de substâncias indesejáveis nas águas residuais. Deverá ser um processo fiável e rentável do ponto de vista económico (USEPA, 2004).

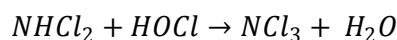
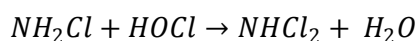
Actualmente os métodos de desinfecção mais utilizados, baseiam se em três tipos:

- Químicos (Cloragem e a ozonização);
- Físicos (Radiação ultravioleta);
- Biológicos (Lagoas de maturação).

### 5.1.2.1 Cloragem

Os compostos de cloro, incluindo o cloro puro (gasoso ou líquido), o hipoclorito de sódio ou cálcio são reagentes muito utilizados na desinfecção de águas. A adição de cloro nas águas depende da combinação de parâmetros como temperatura, pH, tempo de contacto, concentração das espécies cloradas e concentração de azoto amoniacal e partículas em suspensão (USEPA 2004). Por esta razão, o conhecimento da quantidade de cloro a utilizar num processo de desinfecção é importante, em função do teor de cloro residual e a qualidade do efluente pretendida. Por outro lado, a eficácia da cloragem varia consoante a gama de microrganismos, isto é, o cloro é mais eficaz na remoção de bactérias entéricas, tais como *Escherichia coli*, mas menos eficiente na eliminação do vírus ou *Cryptosporidia* e *Giardia*.

A aplicação de cloro para desinfecção, permite ao cloro dissolver-se na água formando ácido hipocloroso, definido como cloro livre disponível. No entanto, na presença de amónia, o cloro reage com a amónia na água formando, sucessivamente, compostos clorados denominados de cloraminas:



Cada um destes três compostos, monoclорamina ( $NH_2Cl$ ), dicloramina ( $NHCl_2$ ) e tricloramina ( $NCl_3$ ), contribui para o cloro residual combinado. Estas reacções químicas proporcionam o fenómeno do *breakpoint*, quando as águas contêm amónia, vidé Figura 15. Nas águas que contem azoto orgânico e azoto amoniacal, o *breakpoint* pode ocorrer mas é menos definido (Alves, 2007).

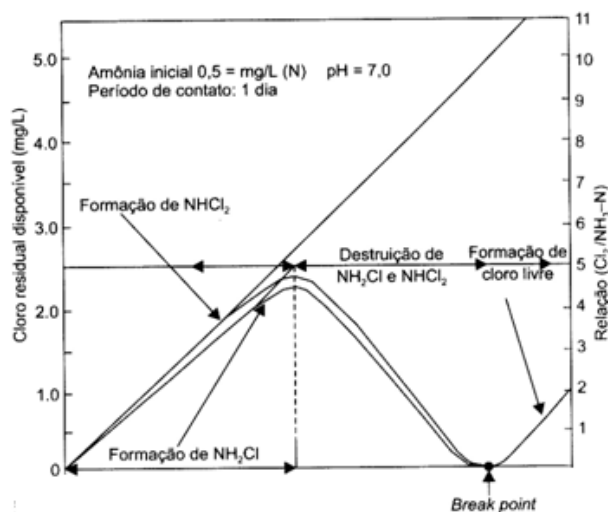


Figura 15 - Cloragem a "breakpoint".

Na maior parte das ETAR, uma vez que a capacidade de formar cloraminas é grande, é necessário realizar uma etapa de descloragem que minimize o cheiro desagradável, causado pela presença de cloro residual, adicionando agentes redutores, tais como, o dióxido de enxofre, metabissulfito, tiosulfato ou também, por vezes, o carvão activado. Assim, o cloro residual é reduzido para um nível que não provoque qualquer dano para a saúde pública (Chlorine Disinfection, 1999; Vitoria, 2002).

As vantagens e as desvantagens da desinfecção por cloragem encontram-se resumidas na Tabela 10.

**Tabela 10** – Vantagens e desvantagens da desinfecção por cloragem (EPA, Chlorine Disinfection, 1999).

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> <li>– É uma tecnologia económica.</li> <li>– Desinfecção com cloro é fiável e eficaz contra um amplo espectro de organismos patogénicos.</li> <li>– Permite uma flexibilidade no controlo da dosagem.</li> <li>– Cloro permite eliminar certos odores nocivos durante a desinfecção.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– O cloro residual, mesmo em baixas concentrações, é tóxico para a vida aquática e pode exigir descloragem.</li> <li>– Todas as formas de cloro são altamente corrosivos e tóxicos. Assim, o armazenamento, o transporte marítimo e o seu manuseamento provocam riscos, e por isso exigem maior segurança.</li> <li>– O cloro ao oxidar alguns tipos de matéria orgânica presentes nas águas residuais, dão origem à formação de novos sub-produtos perigosos, como por exemplo, trihalometanos [THM].</li> <li>– O nível de sólidos totais dissolvidos, assim como, o teor de cloreto aumenta nas águas residuais.</li> <li>– Algumas espécies parasitas têm demonstrado resistência a baixas doses de cloro, incluindo cistos de <i>Cryptosporidium parvum</i> e de <i>Giardia lamblia</i>, ovos de parasitas e vermes.</li> <li>– O efeito provocado ao meio ambiente, a longo prazo, pelos compostos provenientes da descloragem são desconhecidos.</li> </ul>

### 5.1.2.2 Ozonização

O ozono é um oxidante altamente eficaz no tratamento avançado para águas residuais, melhorando as suas características organolépticas, cor e cheiro, e contribuindo com oxigénio dissolvido para os efluentes. Devido à instabilidade da molécula de ozono, este deve ser produzido no local de utilização, a partir de ar ou de oxigénio puro (Ozone Disinfection, 1999).

Os componentes que constituem um sistema de desinfecção de ozono, incluem a produção de ozono, o contacto do ozono e por fim a destruição do ozono (vidé Figura 16). O processo mais eficiente de geração de ozono é por meio de descarga eléctrica de alta voltagem numa corrente de ar. O ar libertado do processo de ozonização pode conter vestígios de ozono residual, logo, este deve ser removido (Ozone Disinfection, 1999).

O processo de ozonização também consegue eliminar bactérias e vírus em alguns minutos, através da rápida oxidação das paredes celulares (lise celular) da estrutura das membranas, assim como, do material genético.



**Figura 16** – Equipamento utilizado para a produção de ozono (SCVWD, 2002).

As vantagens e as desvantagens da desinfecção por ozonização encontram-se resumidas na Tabela 11.

**Tabela 11** – Vantagens e desvantagens da desinfecção com ozono (EPA, Ozone Disinfection, 1999).

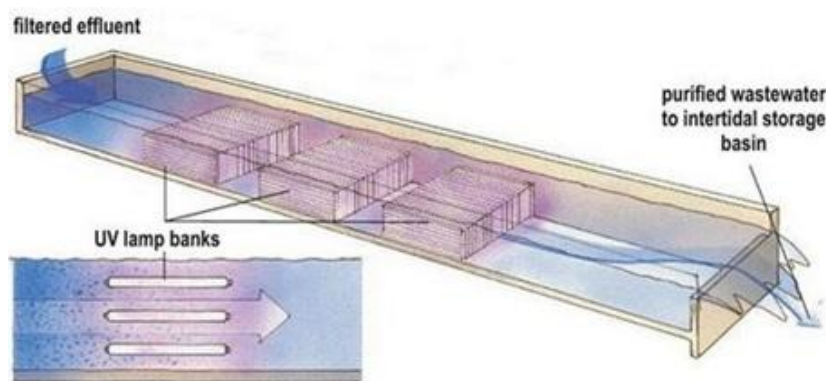
Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> <li>– É mais eficaz na eliminação de vírus e bactérias, quando comparado ao cloro.</li> <li>– Requer menos espaço.</li> <li>– O ozono é produzido no local, logo não apresenta problemas de armazenagem e transporte.</li> <li>– O ozono produz impactos positivos no ambiente aumentando o teor de oxigénio dissolvido nos efluentes.</li> <li>– Dá origem apenas a pequenas quantidades de subprodutos de desinfecção.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Aplicação de doses baixas de ozono são ineficazes na inactivação de alguns vírus, esporos e cistos.</li> <li>– É uma tecnologia cara e complexa, exigindo custos de operação e manutenção relativamente elevados.</li> <li>– O ozono é muito reactivo e corrosivo, sendo necessário utilizar material resistente à corrosão, tais como o aço inoxidável.</li> <li>– O ozono é extremamente irritante e tóxico, de modo que os gases libertados devem ser tratados.</li> </ul>

### 5.1.2.3 Radiação Ultravioleta

A desinfecção por UV é um processo físico que permite a passagem de um caudal de água residual próximo de uma fonte de radiação UV, vidé Figura 17. A descarga eléctrica produzida excita o vapor de mercúrio na lâmpada, emitindo luz UV com um comprimento de onda de 253,7 nm, sendo que o comprimento de onda mais eficaz para a destruição do ácido desoxirribonucleico (ADN) dos organismos patogénicos situa-se à volta de 265 nm (EPA, Ultraviolet Disinfection, 1999). A eficácia de um sistema de desinfecção UV depende das características das águas residuais, especialmente da quantidade de sólidos em suspensão na água, da intensidade da radiação de UV e do tempo de contacto que os microrganismos são expostos à radiação.

Actualmente existem, de acordo com os parâmetros de operação das lâmpadas UV, três categorias de desinfecção por UV, denominadas de baixa pressão baixa intensidade, baixa pressão alta intensidade e média pressão alta intensidade (Metcalf & Eddy, 2003). As lâmpadas de baixa pressão emitem essencialmente luz monocromática no comprimento de onda de 253,7 nm. Relativamente às lâmpadas de média pressão apresentam maior capacidade de penetração devido à sua maior intensidade, sendo frequentemente usadas em

grandes instalações. Estas lâmpadas funcionam a maiores temperaturas, logo consomem mais energia. Os sistemas UV de baixa pressão são geralmente 40 a 50% mais eficientes do que os sistemas de média pressão, mas devido ao elevado número de lâmpadas usadas no sistema de baixa pressão, resulta em maiores custos de exploração e manutenção (PG&E, 2003).



**Figura 17** – Demonstração de um canal de desinfecção por UV.

As vantagens e as desvantagens da desinfecção por UV estão apresentadas na Tabela 12.

**Tabela 12** – Vantagens e desvantagens da desinfecção por UV (EPA, Ultraviolet Disinfection, 1999).

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Eficácia na inactivação da maioria dos vírus e cistos.</li> <li>– Menos dispendioso que o processo de ozonização</li> <li>– Não provoca efeito residual sobre os recursos hídricos.</li> <li>– É de simples operação e mais seguro.</li> <li>– Permite um tempo de contacto mais curto, quando comparado com outros desinfectantes, (aproximadamente 20 a 30 segundos com lâmpadas de baixa pressão).</li> <li>– Requer menos espaço que outros métodos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– A eficiência diminui na presença de elevados teores de sólidos suspensos, cor, turvação e matéria orgânica em solução, logo uma filtração a montante deste processo melhoraria a sua eficiência.</li> <li>– Elevados custos de instalação e de manutenção.</li> <li>– As lâmpadas de baixa pressão não são tão eficazes, quando os níveis de sólidos suspensos totais encontram-se acima de 30 mg/L.</li> </ul>

#### 5.1.2.4 Lagoas de Maturação

As lagoas de maturação são consideradas um método de desinfecção biológico muito eficiente e económico, quando comparado por exemplo à desinfecção por ozono e UV, no entanto, esta opção apresenta limitações no que diz respeito à área necessária para implementação (vidé Figura 18). Este tipo de lagoas consegue remover os organismos patogénicos e também provoca um certo decaimento na concentração de azoto e do fósforo, sendo que a eficiência de remoção de patogénicos, nas lagoas de maturação, aumenta de forma proporcional ao número de lagoas (Marecos do Monte, 1996).

As lagoas de maturação devem ser projectadas de modo a optimizar os principais factores de eliminação dos patogénicos, nomeadamente a temperatura, pH, escassez de alimentos, compostos tóxicos etc. Outro factor que



ajuda na eliminação dos organismos patogénicos de uma forma mais rápida, é a construção de lagoas com profundidades não muito elevadas, entre 1 e 1,5 m, de forma a aproveitar a radiação solar favorecendo as comunidades aeróbias. Inicialmente, as lagoas de maturação devem ser preenchidas com água de um rio de forma a permitir o desenvolvimento gradual das algas e das bactérias heterotróficas (Varón, 2003).

Este tipo de opção, para além da grande área necessária, é particularmente adequado para países tropicais e subtropicais, pois, como já foi referido, a intensidade da luz solar e temperatura são factores importantes para a eficiência deste processo de remoção (Cabezut-Boo & Sánchez-Aguilar, 1999).



**Figura 18** – Representação gráfica das lagoas de maturação.

As vantagens e as desvantagens da desinfecção por lagoa de maturação encontram-se resumidas na Tabela 13.

**Tabela 13** - Vantagens e desvantagens da desinfecção com lagoas de maturação.

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> <li>– É uma técnica simples.</li> <li>– Custo de implementação relativamente baixo.</li> <li>– O seu processo é eficiente na remoção de patogénicos, sendo que a eficiência aumenta proporcionalmente com o aumento do número de lagoas implementadas.</li> <li>– Não necessita de energia eléctrica.</li> <li>– Construção das lagoas é relativamente fácil.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Necessita de uma grande quantidade de área de implementação.</li> <li>– Opção ideal apenas para países com clima tropical e sub-tropical, de modo a aproveitar a temperatura e a intensidade das radiações solares.</li> <li>– Permite um tempo de contacto mais longo, quando comparado com as outras tecnologias de desinfecção mencionadas em cima.</li> <li>– Proliferação de algas nas lagoas de maturação, durante o Verão, causa um abaixamento da eficiência na remoção de patogénicos.</li> </ul>

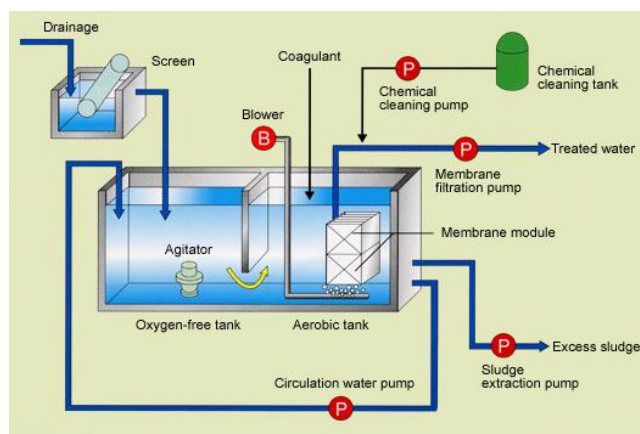
### 5.1.3 MEMBRANA BIO-REACTOR

O sistema MBR representa um processo eficiente na remoção de compostos carbonáceos e azotados. O MBR baseia-se na tecnologia de lamas activadas, juntamente com um processo de separação por membrana, excluindo, assim, o tratamento secundário e o tratamento terciário (Melin, et al., 2005). Porém, em termos da qualidade de tratamento das águas residuais, esta técnica pode ser melhorada uma vez que ainda não responde com devida eficácia, às variações de carga hidráulica que possam existir (Stephan et al., 2007). A tecnologia de

MBR para além da remoção de poluentes, permite também eliminar organismos patogénicos, devido à rigorosa filtração (porosidade entre 0,1-0,4  $\mu\text{m}$ ) que possui, não necessitando assim de qualquer processo de desinfecção, vidé Figura 19 (Murakami, 2005). As membranas podem ser instaladas directamente no reactor biológico (com uma configuração submersa) ou num reactor separado através de recirculação.

No entanto, esta tecnologia necessita de muita energia, tornando o processo extremamente caro. O seu consumo situa-se entre os 0,8 e 1,5 kWh/m<sup>3</sup>, sendo que quando a concentração de sólidos suspensos no reactor aumenta, o consumo de energia é ainda mais elevado.

Têm sido desenvolvidos esforços para melhorar esta técnica, pois é considerada muito promissora. Contudo, como já foi referido, a implementação desta tecnologia, exclusivamente, para remoção de organismos patogénicos é considerada incorrecta, pois apresenta um elevado custo, tornando-se uma opção completamente inviável.



**Figura 19** – Representação gráfica do princípio do funcionamento da tecnologia MBR.

As vantagens e as desvantagens do sistema MBR encontram-se resumidas na Tabela 14. Na Tabela 15, estão representados resultados da qualidade do efluente tratado depois de ser sujeito a um processo de tratamento por Membrana Bio-Reactor, num estudo de caso. Observando, os valores apresentados na Tabela 15, teoricamente pode-se constatar que o sistema de MBR resulta em excelentes resultados no que diz respeito à qualidade do efluente.

**Tabela 14** – Vantagens e desvantagens da tecnologia MBR (Metcalf & Eddy, 2003; Murakami, 2005).

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Área de implementação muito reduzida.</li> <li>– Estável e produz uma qualidade do efluente excelente, em termos de baixa turvação, bactérias, SST e CQO.</li> <li>– Neste processo, não é necessário realizar a etapa de decantação secundária e também dispensa a aplicação do processo de desinfecção.</li> <li>– Alta eficiência na remoção de vírus.</li> <li>– Reduz o excesso de produção de lamas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Elevados custos de investimento e manutenção.</li> <li>– As membranas utilizadas, apresentam um tempo de vida relativamente curto.</li> <li>– Substituição das membranas é dispendioso.</li> <li>– Elevados custos energéticos.</li> <li>– Produção de efluentes químicos (provenientes da frequente lavagem das membranas)</li> </ul>

**Tabela 15** – Eficiência de remoção e qualidade do efluente quando é utilizada a tecnologia MBR (Melin, et al., 2005).

Parâmetro	Eficiência de remoção (%)	Qualidade do efluente
SST (mg/L)	>99	<2
Turvação (NTU)	98,8 - 100	<1
CQO (mg/L)	89 - 98	10 – 30
CBO (mg/L)	>97	<5
NT (mg/L)	36 - 80	<27
PT (mg/L)	62 - 97	0,3 - 2,8
Coliformes totais (CFU/100 mL)	-	<100
Coliformes fecais (CFU/100 mL)	-	<20

A selecção da tecnologia a implementar, depende das características pretendidas para a água a reutilizar, que por sua vez, depende do tipo de reutilização a utilizar. Assim, na Tabela 16, estão representadas algumas características a ter em conta, aquando da escolha do processo adicional que será mais apropriado, para o objectivo de reutilização de águas, salvaguardando sempre o meio ambiente e as pessoas que nele estão inseridas.

**Tabela 16** – Comparação entre os métodos mais usados na remoção de organismos patogénicos, como tratamento avançado. (Metcalf & Eddy, 2003; Urkiaga & De las Fuentes, 2004; Vitoria, 2002).

Consideração	Cloragem	Ozonização	UV	Lagoas de maturação
<b>Eficácia contra:</b>				
Bactéria	Médio	Médio	Médio	Médio
Vírus	Médio	Alto	Alto	Alto se maturação for > 14 dias
Parasitas	Baixo	Alto	Baixa	Alta se a maturação for > 30 dias
<b>Praticabilidade:</b>				
Complexidade	Simples	Complexa	Simples	Simples
Manutenção e limpeza	Baixo	Intensivo	Moderado	Baixo
<b>Custos</b>				
Operação	Médio	Alto	Médio	Baixo
Capital	Baixo	Alto	Médio	Médio
<b>Efeitos adversos</b>				
Riscos de segurança: transporte	Sim	Sim	Não	Não
Riscos de segurança: no local	Substancial	Moderado	Mínimo	Mínimo
Formação de subprodutos	Potencial	Potencial	Não detectável	Crescimento de algas tóxicas
Consumo de energia eléctrica	Baixo	Alto	Médio	Nulo

## 5.2 DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA RESIDUAL TRATADA

Relativamente, à concepção do sistema de distribuição das águas residuais tratadas, estas podem ser distribuídas através de uma rede distribuição subterrânea, ou por intermédio de camiões cisterna.

Caso sejam utilizados camiões cisterna para esta finalidade, estes devem apresentar normalmente cor diferente dos restantes camiões, contudo apenas a indicação para não ingestão da água transportada, por vezes é suficiente. O transporte de água residual tratada apenas é viável para distâncias curtas, pois o custo de

transporte para este tipo de utilizações torna-se muito elevado para grandes distâncias (Céu Almeida et al., 2006).

No caso de se adoptar pelo sistema subterrâneo de distribuição de água, este funciona de igual modo ao sistema de distribuição de água potável, sendo necessário identificar todos os materiais e equipamentos usados com cores claras, como por exemplo cor lilás, vidé Figura 20, de modo a evitar possíveis acidentes ou usos incorrectos (Cities, 2006).



**Figura 20** – Identificação da tubagem para reutilização de águas residuais tratadas.

Em zonas com fácil acesso para pessoas, o limite da zona regada deve estar sinalizado por meio de tabuletas, afastadas entre si de 100m, no máximo, de forma a tornar facilmente perceptível. Como exemplo, as tabuletas de aviso devem ser de cor lilás e conter o seguinte texto: “Atenção! Zona de rega com águas residuais tratadas”, vidé Figura 21 (NP4434, 2005).



**Figura 21** – Letreiro indicativo da utilização de água residual tratada num parque em Madrid.

Relativamente aos dispositivos de câmaras de válvulas, num sistema de abastecimento de águas residuais tratadas, estes devem ter uma inscrição moldada na superfície da tampa, vidé Figura 22, onde o formato não deve ser compatível com outros dispositivos de sistemas de abastecimento de água para consumo humano, de modo a impedir-se ligações cruzadas, entre as mangueiras e as juntas de ligações utilizadas num sistema de águas residuais tratadas. Também nesses locais devem ser colocados avisos com cor lilás, facilmente visíveis, com o seguinte texto: “Água não potável” (Kassis, W. et al, 2002).



**Figura 22** - Representação de uma caixa de válvulas utilizadas para rega de espaços verdes em Madrid.

Os potenciais riscos à saúde pública, tem sido cuidadosamente controlados e bem implementados pelas autoridades responsáveis locais, como é o caso da capital espanhola, Madrid, que apresenta o maior sistema de distribuição de água reutilizada implementado na Europa, com 150 km de extensão de rede, sem quaisquer problemas até à data (Desarrollo Inteligente, 2008). A distância entre os tubos na rede de água potável e não potável, segundo a componente horizontal, deve ser na ordem dos 3,0 m, sendo que a componente vertical deve ser de aproximadamente 0,46 m entre as mesmas linhas de água potável e não potável. Quando não for possível manter estas distâncias, deve ser pedida uma autorização especial, mas a distância lateral mínima de 1,20 m tem de ser cumprida. (USEPA, 2004) Estes valores de referência foram elaborados nos EUA, e usados em países onde não existe qualquer legislação sobre redes de abastecimento de água residuais tratadas, como é o caso de Portugal.

No entanto, a aplicação desta opção em Portugal, nos dias de hoje, para extensões de rede muito extensas, deverá ser bem avaliada pois implica um elevado investimento em termos económicos, assim como um grande transtorno à população. Em muitos locais do país, existem soterrados, juntamente, sistemas de saneamento e drenagem, rede de abastecimento de água potável, de electricidade e de gás, logo uma implementação de redes desta natureza devem ser ponderados de forma extremamente cautelosa. Assim, perante a nossa realidade, a opção mais plausível será a implementação de uma rede de distribuição de água em zonas localizadas e isoladas.

Um dos problemas a evitar na rede de distribuição de águas residuais tratadas é o reaparecimento dos microrganismos, desenvolvendo biofilmes na rede de distribuição que leva à contaminação da água residual. Esta formação de biofilme pode suceder quando a qualidade da água, à saída da ETAR, não é a pretendida, chegando ao utilizador final com diferentes características químicas e microbiológicas. Neste sentido, é importante criar na ETAR um sistema de pós-cloração, antes da distribuição da água reutilizada, injectando uma dosagem de cloro residual, que mantenha uma concentração de 0,5 mg/l em cloro residual livre na água, para um tempo de contacto de 30 minutos, de forma a manter as exigências pretendidas (Miguel, 2007).

### 5.2.1 ARMAZENAMENTO

Relativamente ao sistema de armazenamento de água residual, deve ser efectuado através de reservatórios, pois apresentam como objectivo garantir volumes de água para compensar a flutuação dos consumos horários ao longo do dia, permitir o bom funcionamento das redes de distribuição, a regularização do funcionamento das bombagens e o equilíbrio de cargas piezométricas.

Os reservatórios devem ser dimensionados de forma a armazenar água suficiente para atender às necessidades, consoante o volume pretendido.

Os reservatórios a implementar no armazenamento de águas residuais tratadas podem ser abertos ou fechados, conforme estão descritos na seguinte sequência (Metcalf & Eddy, 2003):

- Reservatório fechado: Este tipo de reservatório pode ser enterrado ou elevado. A sua utilização serve para abastecer diversos usos urbanos, onde as considerações estéticas são importantes.
- Reservatório aberto: Pode resultar na degradação da qualidade de água devido ao crescimento biológico, dificultar a fixação de cloro residual e favorecer o processo de evaporação, aumentando a concentração de sólidos dissolvidos totais. Quando comparado com o reservatório fechado, na maioria das vezes, é menos dispendioso, porém muitas das vezes requer uma maior área para implementação, podendo inviabilizá-lo.

Na Tabela 17, é efectuada uma comparação dos problemas associados aos dois tipos de reservatórios, para os parâmetros físicos, químicos e biológicos, verificando-se que a opção de implementar um reservatório aberto trará, teoricamente, mais problemas do que implementar um reservatório fechado.

**Tabela 17** - Comparação sobre os problemas associados entre os reservatórios do tipo aberto e fechado (Metcalf & Eddy, 2003).

Parâmetros	Reservatório Aberto	Reservatório Fechado
<b>Físicos</b>		
Cor	Pode ser causada pela presença de materiais húmicos e finas partículas de siltes.	Causadas pela presença de matéria húmica na água reutilizada
Odores	Derivado da presença de ácido sulfídrico	Derivado da presença de ácido sulfídrico
Estratificação Térmica	Ocorre uma ou duas vezes por ano, quando a altura de água é apreciável.	-
Turvação	Pode afectar a aparência da água reutilizada	Pode afectar a aparência da água reutilizada
<b>Químicos</b>		
Cloro	Os compostos que contêm cloro podem ser tóxicos para a vida aquática	O cloro, normalmente, é usado para controlar o crescimento biológico.
Oxigénio dissolvido	Baixa quantidade de oxigénio dissolvido permiti o aparecimento de odores	Falta de oxigénio pode conduzir a libertação de odores
Azoto	Nutrientes são capazes de estimular o crescimento de fitoplâncton	-
Fósforo	Nutrientes são capazes de estimular o crescimento de fitoplâncton	-
<b>Biológicos</b>		
Algas	O excesso de algas pode causar odores e aumento da turvação	-
Sujidade aquática	A presença de aves pode degradar a qualidade da água.	-
Bactérias	O seu crescimento é comum, podendo afectar possíveis usos	O seu crescimento é comum, podendo afectar possíveis usos
Clorofila	Excesso de algas e matéria orgânica	-
Helmintos	Pode afectar as possíveis aplicações de reutilização da água	-
Insectos (mosquitos)	Pode ser necessário o uso de insecticidas	Insectos podem, por vezes, entrar nos reservatórios, sendo necessário o uso de insecticidas.
Fitoplâncton	Excesso de algas pode causar odor e aumento da turvação.	-
Protozoários	Podem afectar possíveis aplicações da reutilização da água	-
Vírus	Podem afectar possíveis aplicações da reutilização da água	Podem afectar possíveis aplicações da reutilização da água

Contudo, existem algumas estratégias que podem ser adoptadas para a resolução dos problemas associados a este tipo de reservatórios, como se pode ver na Tabela 18.

**Tabela 18** – Estratégias adoptadas para resolução dos problemas existentes nos dois tipos de reservatórios (Metcalf & Eddy, 2003)

Reservatórios fechados	Reservatórios aberto
Instalação de arejadores, os quais mantêm o nível de oxigénio dissolvido, diminuindo a formação de odores.	Instalação de arejadores com o objectivo de manter as condições aeróbias e elimina a estratificação térmica.
Quando é aplicado cloro para controlar o crescimento de microrganismos	Adição de sulfato de cobre serve para controlar o crescimento das algas, no entanto o cobre tem de ser eliminado pois a acumulação de cobre pode ser tóxica.
Realiza-se uma etapa de recirculação, para limitar o crescimento de microrganismos e a formação de odores.	Destratificação (incluindo recirculação), onde os agitadores submersos ou de aspiração podem ser utilizados para eliminar a estratificação térmica, assim como bombas de recirculação. Pode promover a libertação de fósforo dos sedimentos acumulados no fundo do reservatório.
Estes três métodos são aplicados com o objectivo de promover a circulação de água, evitar zonas mortas e manter livre o cloro residual.	Precipitação de alumínio que pode ser usada para remover sólidos em suspensão e fósforo. Pode ser utilizada para impedir a libertação de fósforo dos sedimentos acumulados no fundo do reservatório;
-	Deterioração natural de microrganismos, isto é, a eficiência de inactivação natural dos microrganismos depende da operação do reservatório e do tempo de retenção das águas residuais urbanas.
-	Remoção de nutrientes, para controlar o crescimento de organismos aquáticos.
-	Foto-oxidação, pode promover benefícios através da exposição da água à luz solar.
-	Biomanipulação, que controla a taxa de crescimento dos microrganismos;

### 5.2.2 SISTEMA HIDRÁULICO

Na concepção e dimensionamento de redes de transporte, distribuição e aplicação de águas residuais tratadas devem ser utilizados critérios semelhantes aos assumidos para uma rede de distribuição de água para consumo humano, devendo seguir o previsto no Decreto Regulamentar nº 23/95, de 23 de Agosto. O seu dimensionamento é efectuado com base nos caudais de ponta, sendo os volumes de armazenamento estimados com base nas necessidades, onde estes critérios são considerados de grande importância num projecto de infra-estruturas hidráulicas. Os caudais de ponta são utilizados para dimensionar os grupos electrobomba e as condutas de distribuição a implementar.

No dimensionamento de um sistema hidráulico, é necessário proceder ao cálculo da altura manométrica total de forma a obter todas as características da bomba a seleccionar. A altura manométrica total corresponde à distância vertical que a bomba deve vencer para elevar um caudal  $Q$ , entre dois pontos. O seu cálculo é efectuado através Expressão 1.



$$\Delta H_T = \Delta H_{\text{topográfica}} + \Delta H_p + \sum \Delta H_L = \sum K_L \frac{U^2}{2g} \quad (1)$$

Onde a variação da altura topográfica,  $\Delta H_{\text{topográfica}}$ , corresponde à diferença entre o ponto de altura mais elevado e o ponto mais baixo, obtido pela Expressão 2.

$$\Delta H_{\text{topográfica}} = H_{\text{maior}} - H_{\text{menor}} \quad (2)$$

O cálculo da perda de carga contínua,  $\Delta H_p$ , é efectuado através da Expressão 3.

$$\Delta H_p = J \cdot L \quad (3)$$

onde:

J - corresponde à perda de carga unitária;

L - o comprimento da conduta em estudo.

Mostra-se que para o cálculo da perda de carga unitária, J, pode ser dado como função da velocidade do escoamento U, pelo diâmetro da conduta D, pela aceleração da gravidade g, e pelo coeficiente de resistência,  $\lambda$ , obtido pela Expressão 4.

$$J = \frac{\lambda}{D} \cdot \frac{U^2}{2g} \quad (4)$$

No entanto, o coeficiente de resistência,  $\lambda$ , depende entre outros factores do grau de turbulência do escoamento (número de Reynolds, Re), a rugosidade equivalente, k, e o diâmetro da conduta, D, ou seja:

$$\lambda = f(Re, k, D, \dots)$$

Cujo número de Reynolds é dado pela Expressão 5.

$$Re = \frac{U \cdot D}{\nu} \quad (5)$$

em que:

$\nu$  - corresponde à viscosidade cinemática (m<sup>2</sup>/s).

Salientar que para valores de Re menores que 2000, o fluxo é considerado laminar e para valores de fluxo superior a 3000 é considerado turbulento. Entre estes dois valores o fluxo é considerado como de transição.

Por fim, o coeficiente de resistência será obtido a partir da forma analítica recorrendo à Expressão 6 de Colebrook-White.

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log_{10} \left( \frac{k}{3,7D} + \frac{2,51}{Re\sqrt{\lambda}} \right) \quad (6)$$

No que diz respeito à perda de carga localizada,  $\Delta H_L$ , esta avalia-se por uma Expressão 7.

$$\Delta H_L = K_L \cdot \frac{U^2}{2g} \quad (7)$$

onde:

$K_L$  – corresponde ao coeficiente de perda de carga localizada, que depende da geometria da singularidade, do número de Reynolds e, em alguns casos de determinadas condições do escoamento.

A determinação do  $K_L$ , só pode fazer-se por via experimental com o objectivo de conduzir a esquemas teóricos.

Um destes casos refere-se à perda de carga por alargamento brusco, obtida pela Expressão 8:

$$K_L = \left( 1 - \frac{A_{menor}}{A_{maior}} \right) \quad (8)$$

Esta expressão é frequentemente designada por perda de carga de Borda, onde o  $A_{menor}$  e  $A_{maior}$  correspondem à área da secção do tubo de passagem do fluído (Quintela, 2005).

No que diz respeito ao dimensionamento das condutas, o diâmetro da tubagem é determinado, para uma velocidade de escoamento na conduta entre 0,6 e 2 m/s (Ramalho et al, 2007).

# 6

## ESTUDOS DE CASO

Os estudos de caso que serão desenvolvidos neste capítulo obedecem a uma estratégia de desenvolvimento com se indica na Tabela 19.

**Tabela 19** – Principais componentes de cada uma das fases do estudo (Martins et al, 2006).

Fase de estudo	Informação relevante
<b>Caracterização da oferta</b>	1.Caracterização qualitativa e quantitativa dos efluentes produzidos na ETAR 2.Enquadramento Legal 3.Proposta de intervenção para optimização do processo de tratamento
<b>Caracterização da procura</b>	1.Estimativa dos consumos de água 2.Caracterização das origens de água disponível 3.Caracterização do local seleccionado
<b>Cruzamento entre a oferta e a procura</b>	1.Cruzamento entre as disponibilidades e as necessidades de água 2.Analise sobre o armazenamento da água residual tratada 3.Transportes da água residual tratada 4.Soluções de tratamento 5.Considerações gerais sobre a gestão a rega de espaços verdes com água residual tratada 6.Avaliação económica relativamente aos custos de tratamento adicional e ao transporte da água residual 7.Análise dos resultados

Nesta Tabela, figuram, igualmente, os principais conteúdos de cada uma das fases, que serão devidamente abordadas com o intuito de fornecer informação mais detalhada sobre as mesmas.

É de notar que qualquer estudo deve integrar medidas conducentes à sensibilização pública, que enquadrem numa perspectiva social a importância desta temática. É, por isso, bastante útil desenvolver, de forma clara e simples, uma acção orientada para a sua sensibilização. Como tal, foi considerado oportuno elaborar um inquérito que permitisse identificar o potencial de aceitação destes projectos. Os resultados obtidos encontram-se representados no Anexo C.

### 6.1 POTENCIAL DE REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS TRATADAS PARA REGA NA REGIÃO DE ERMESINDE

No presente subcapítulo, procedeu-se ao estudo da aplicação de águas residuais tratadas, provenientes da ETAR de Ermesinde, na rega de espaços verdes. De acordo com a Tabela 19, numa primeira fase caracterizou-

se a oferta e a procura, relativas à ETAR de Ermesinde e aos espaços verdes seleccionados, respectivamente. De seguida, esta informação foi cruzada, com o intuito de avaliar a viabilidade do projecto em estudo.

#### 6.1.1 OFERTA: CARACTERIZAÇÃO DA ETAR DE ERMESINDE

##### 6.1.1.1 *Caracterização Qualitativa dos Efluentes Produzidos.*

A ETAR de Ermesinde (vidé Figura 23) foi projectada para tratar os efluentes urbanos provenientes da zona poente do Concelho de Valongo, abrangendo as freguesias de Ermesinde e Alfena. A ETAR de Ermesinde serve essencialmente efluentes domésticos e uma pequena parte de efluentes industriais que, sendo previamente sujeitos a pré-tratamentos específicos, apresentam características semelhantes aos efluentes domésticos. A sua proximidade a zonas habitacionais exige uma especial atenção ao bom funcionamento da ETAR e à qualidade do seu efluente final.



**Figura 23** - Localização da ETAR de Ermesinde.

Actualmente, tendo em consideração a legislação aplicável, nomeadamente o Decreto-Lei n.º 152/97, de 19 de Junho, os valores do efluente tratado na ETAR de Ermesinde, apresentados na Tabela 20, cumprem os valores limite de licença de descarga.

Já no que refere aos valores limite a cumprir relativos à água destinada para rega, Decreto-Lei n.º 236/98, conforme também pode ser observado na Tabela 20, com o tratamento actual os valores do efluente final cumpriam o respectivo quadro de qualidade exigido, em termos do parâmetro SST. No entanto, em termos microbiológicos a quantidade de coliformes fecais existentes na água residual actual deve ser consideravelmente superior ao exigido na legislação, 200 NMP/100 ml. Normalmente, uma água residual que não seja submetida a uma etapa de desinfecção, a concentração de coliformes fecais é da ordem dos  $2 \times 10^7$  NMP/100 ml.

Assim, perante a proposta de implementar um tratamento adicional, acoplado ao já existente na ETAR de Ermesinde, esperar-se-á que a concentração de coliformes fecais fique abaixo do valor limite indicado na NP 4434-2005.

**Tabela 20** – Resultados das análises do efluente final nos quatro trimestres de 2008.

Parâmetro		Afluente Bruto (Entrada)			Efluente Tratado (Saída)				
		CBO <sub>5</sub> (mg/l)	CQO (mg/l)	SST (mg/l)	CBO <sub>5</sub> (mg/l)	CQO (mg/l)	SST (mg/l)	PT (mg/l)	NT (mg/l)
Licença de descarga (Decreto-Lei nº 152/97)		-	-	-	25	125	35	-	-
Destinada a rega (Decreto- Lei nº 236/98)*		-	-	-	-	-	60	-	-
1º Trimestre	08-01-2008	400	880	340	35	75	37		
	23-01-2008	290	470	300	6	26	16		
	05-02-2008	260	540	430	35	70	36		
	19-02-2008	490	1100	730	22	68	27		
	06-03-2008	610	1300	450	47	87	12		
	20-03-2008	410	1700	370	17	82	10		
2º Trimestre	02-04-2008	360	930	360	<8	80	9		
	15-04-2008	250	1100	280	<8	77	18		
	30-04-2008	260	690	260	<8	60	18		
	13-05-2008	180	1100	660	17	92	32		
	28-05-2008	230	840	180	<8	45	7		
	10-06-2008	320	930	320	<8	70	<10		
	26-06-2008	350	1100	310	7,8	87	15		
3º Trimestre	09-07-2008	360	1000	470	<8	52	7	10,9	16,7
	24-07-2008	190	1000	340	10	59	<5		
	06-08-2008	570	1200	370	<8	70	12	7,6	11,4
	21-08-2008	360	1200	410	8,4	76	10		
	03-09-2008	370	1200	490	<8	72	16	5	41
	16-09-2008	310	1500	340	8	88	19		
4º Trimestre	02-10-2008	340	1100	360	11	88	<10	4,5	55
	14-10-2008	380	1100	410	<8	88	15		
	12-11-2008	570	1200	360	22	93	23	4,7	57
	28-11-2008	410	1100	340	16	120	<25		
	11-12-2008	360	830	260	18	60	<25	2,3	22
	22-12-2008	410	960	460	<20	65	<25		

\*Valor máximo recomendável

### 6.1.1.2 Caracterização Quantitativa dos Efluentes Produzidos

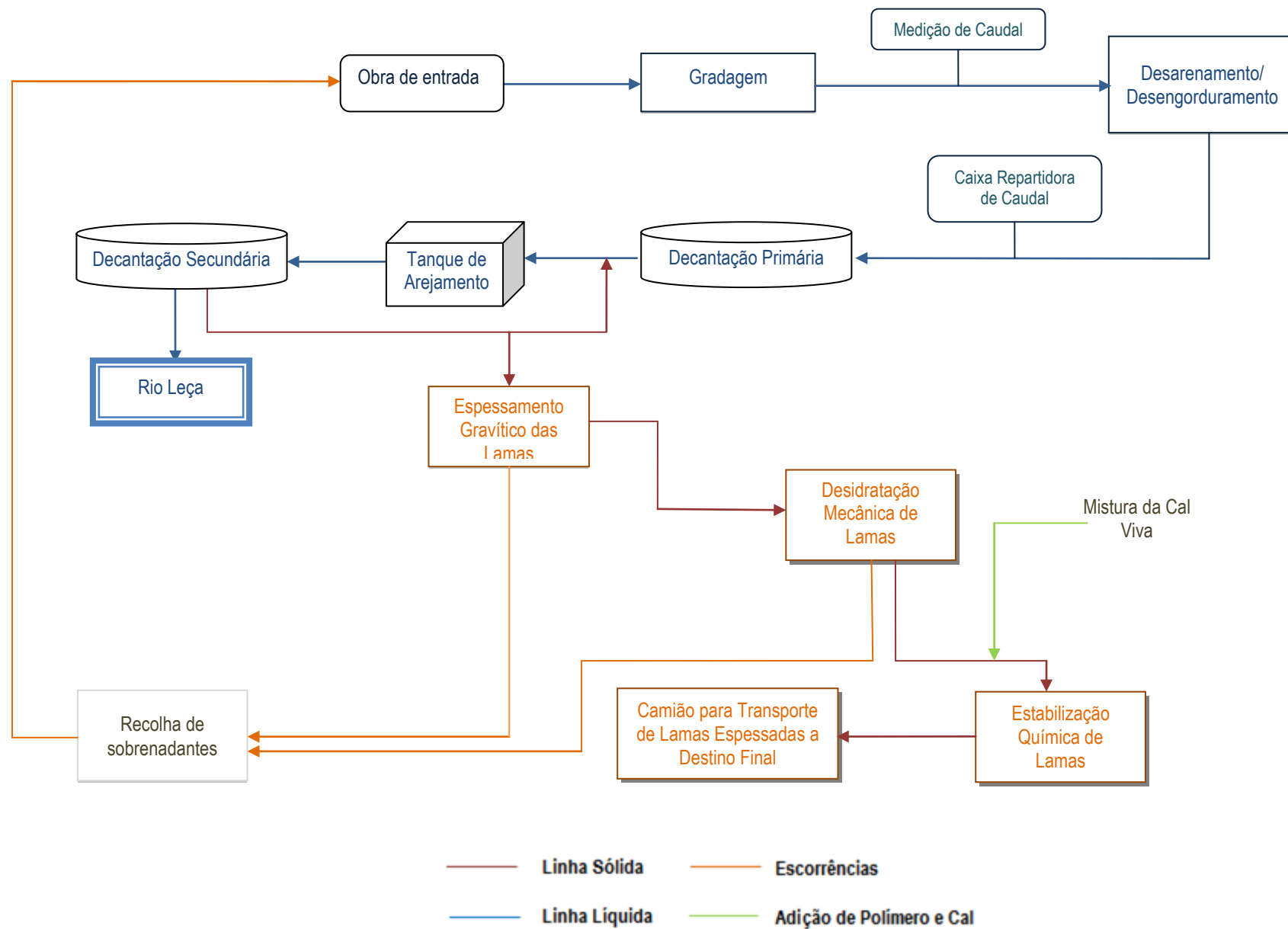
A ETAR de Ermesinde foi dimensionada para um horizonte de projecto de 20 anos, funcionando com um nível de tratamento biológico. No seu dimensionamento foram consideradas as condições de afluência quantitativas e qualitativas que constam na Tabela 21.

**Tabela 21** – Resultados da exploração.

Parâmetros	Unidades	Ano 1995	Ano 2015
População servida	Hab.eq	50.000	67.000
Caudal médio	m <sup>3</sup> /dia	5.000	8.040
Caudal de ponta	m <sup>3</sup> /h	278	335
CBO <sub>5</sub>	kgCBO <sub>5</sub> /dia	2.700	3.618
CQO	kgCQO/dia	6.000	8.040
SST	kgSST/dia	3.500	4.690
NTK	kgNTK/dia	500	670
PT	kgPT/dia	100	134

Durante o ano de 2007 foi tratado um caudal médio de 7131 m<sup>3</sup>/dia, cerca de 89% do caudal médio diário previsto para o ano horizonte de projecto (ano 2015), indicando que a ETAR, ainda, trata caudais inferiores aos valores para qual foi projectada.

Na Figura 24, encontra-se a esquematização da linha dos processos de tratamento existente na ETAR de Ermesinde, sendo que no Anexo D é realizado uma breve descrição da linha de tratamento de cada uma das três fases: fase líquida, fase sólida e fase gasosa (desodorização).



**Figura 24** – Fluxograma do esquema de tratamento existente na ETAR de Ermesinde.

### 6.1.1.3 *Proposta de Intervenção para Optimização do Processo de Tratamento*

Perante o tipo de tratamento actual existente na ETAR de Ermesinde, no que refere aos parâmetros físico-químicos, estes encontram-se em condições aceitáveis, já no que diz respeito aos parâmetros microbiológicos o efluente não apresenta as características ideais para ser usado na rega de espaços verdes. No entanto, com a proposta de intervenção para optimização do processo de tratamento, os valores deverão situar-se dentro dos limites legais descritos no Decreto-Lei nº 236/98 e da NP 4434-2005.

Neste estudo apresentou-se duas alternativas para um melhoramento da qualidade bacteriológica do efluente final da ETAR: uma composta por desinfecção por UV e outra por desinfecção por ozonização. Foram escolhidas apenas estas duas alternativas, pois de acordo com a Tabela 5, exposta no subcapítulo 4.2.2.3, para a classe B em estudo, o tratamento recomendado para obter um efluente final sem riscos para a saúde pública, é implementar um sistema de desinfecção por UV ou por ozono (NP4434, 2005).

## 6.1.2 PROCURA: ESPAÇOS VERDES

### 6.1.2.1 *Estimativa dos Consumos de Água*

Todos os dados necessários sobre os consumos de água na rega de espaços verdes, referente ao ano de 2008, na região de Ermesinde, foram gentilmente fornecidos pela Câmara Municipal de Valongo (CMV). Com estes dados foi possível analisar a sua variação sazonal, identificar quais as zonas onde existe um maior consumo de água potável e determinar a distância entre a ETAR e o ponto de aplicação (vidé Tabela 22).



**Tabela 22** – Estimativa dos consumos médios diários de água potável para rega, na região de Ermesinde (Ano de 2008).

Locais	Consumo médio diário (m³/dia)												Total (m³/ano)
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	
Parque Urbano	10	16	16	105	92	183	146	269	121	76	24	3	32.410
Maia Shopping	0	0	0	0	0	10	9	15	0	13	3	1	1.568
Rua Escolas da Bela	0	0	0	0	0	12	10	7	0	0	0	0	887
Rua Palmilheira	2	8	2	4	0	0	15	17	0	0	0	0	1.460
Quinta Rosa	0	0	0	0	0	0	11	19	0	0	5	0	1.080
Rot. Trav. da Costa	0	0	0	0	0	4	4	5	1	0	0	0	429
Largo da Estação	4	0	0	0	0	4	8	4	2	0	0	0	676
Rua Mário Pais Sousa	0	0	0	0	0	2	0	4	1	0	0	0	214
Rua Porto Carreiro	0	0	0	0	0	1	2	2	0	0	0	0	154
Rot. Ribeiro Teles	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	92
Praceta José Joaquim R. Teles	0	0	0	0	0	4	5	6	0	0	0	0	461
Eng. Duarte Pacheco	0	0	1	0	1	2	3	3	0	0	0	0	308
Rot. João Deus	0	0	0	0	0	1	5	5	0	0	0	0	340
Rotunda sob IC 24	0	0	0	0	0	3	5	6	1	2	2	1	614
Rua do Juncal	0	0	0	0	0	8	9	10	0	0	0	0	829
Consulado do Equador	0	0	0	0	0	2	10	4	2	0	0	0	554
Rotunda da Santa Rita	0	0	0	0	0	7	4	4	0	0	0	0	458
R. Humberto Delgado	0	0	0	0	0	2	2	6	0	0	0	0	308
Rodrigues de Freitas	0	0	0	0	0	1	2	2	0	0	0	0	154
Rua Vila Beatriz	0	0	0	0	0	2	2	2	0	0	0	0	184
Rua de Chãos	0	0	0	0	0	1	2	2	0	3	2	2	369
Rua do bom pastor	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2	2	1	457
Edifício Inteligente	0	0	0	0	1	4	4	5	0	0	0	0	430
R. Calvário	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	93
Campo Jogos Dominó	0	0	0	0	0	2	4	6	0	0	0	0	370
D. António Ferreira Gomes	0	0	0	0	0	2	3	4	0	4	3	3	584
Laura Moreno	22	14	0	9	9	4	6	5	3	5	3	6	2.605
R. Dr. Nogueira Santos Sampaio	0	0	0	0	0	7	11	13	0	0	0	0	954
<b>Total</b>	<b>39</b>	<b>39</b>	<b>20</b>	<b>119</b>	<b>104</b>	<b>270</b>	<b>286</b>	<b>429</b>	<b>132</b>	<b>105</b>	<b>44</b>	<b>17</b>	<b>49.042</b>

Tal como se depreende da Tabela 22, o consumo máximo de água verifica-se para o “Parque Urbano” (269 m³/dia) e para o local “Laura Moreno” (22 m³/dia), no mês de Agosto e Janeiro, respectivamente. No entanto, apesar do jardim “Laura Moreno” representar o segundo local onde se verifica um maior consumo de água potável (5% do total), a distância entre este e a ETAR de Ermesinde é relativamente elevada (cerca de 4,5 km). Esta distância é bastante superior à verificada entre o Parque Urbano e a ETAR de Ermesinde (aproximadamente 1,5 km), pelo que esta condição, aliada ao facto deste apresentar um consumo anual de 32.410 m³ (66% do total), conduziu à sua escolha como estudo de caso.

Este elevado consumo de água deve-se em parte à sua dimensão (cerca de 1 hectare) e ao facto de existir um lago artificial que é abastecido e/ou reabastecido através de água potável. Poder-se-á, ainda, destacar a sua grande afluência de pessoas, derivado do parque possuir um anfiteatro ao ar livre, campo de minigolfe, parque

infantil e café. Logo, a aplicação de águas residuais, neste contexto, deverá ter em conta um conjunto de critérios que assegurem a segurança dos seus utilizadores.

Com base nas considerações anteriormente referidas, definiu-se que o horizonte temporal do estudo de caso seria de 15 anos, este intervalo de tempo foi considerado adequado tendo em conta os objectivos do presente trabalho.

Por outro lado, é do senso comum que o consumo de água aplicada à rega de espaços verdes está directamente relacionado com a área regada. Contudo, tendo em vista a prossecução dos objectivos propostos, verificou-se que se fosse este o único critério considerado na estimativa dos consumos de água, este projecto ficaria condicionado logo à partida devido ao caudal em estudo ser bastante baixo. Igualmente, o facto da água residual tratada ser utilizada para abastecer e/ou reabastecer o lago artificial e, uma vez que este volume poderá sofrer flutuações ao longo dos anos, considerou-se legítimo contemplar uma taxa de aumento no consumo anual de água. Outro motivo importante, prendeu-se com o facto de os dados que serviram de base a esta estimativa referirem-se, unicamente, ao ano de 2008; nestes casos, é pertinente considerar um conjunto alargado de registos para que este estudo seja devidamente fundamentado, uma vez que os consumos de água não são idênticos para todos os anos, conforme foi referido pela CMV aquando da sua disponibilização.

Assim, a estimativa dos consumos de água ao longo da vida útil do projecto foram calculados a partir da Expressão 9.

$$C_F = C_A \times (1 + i)^n \quad (9)$$

sendo:

$C_F$  – Consumo de água no ano corrente ( $m^3/dia$ );

$C_A$  – Consumo de água no ano anterior ( $m^3/dia$ );

$i$  – taxa de aumento do consumo de água (%/ano);

$n$  – período em estudo (anos).

A taxa de aumento considerada foi de 5% ao ano, este critério foi assumido tendo em linha de conta os usos múltiplos que esta aplicação irá contemplar. Posto isto, foi possível determinar os consumos de água ao longo da vida útil do projecto (vidé Tabela 79 do Anexo D). Na Tabela 23, apresenta-se um resumo que contempla, somente, o ano 0 e o ano horizonte do projecto.

**Tabela 23** – Estimativa do consumo de água médio diário, no Parque Urbano, para o ano 0 e para o ano horizonte.

	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
	Consumo médio diário ( $m^3/dia$ )											
<b>Ano 0</b>	10	16	16	105	92	183	146	269	121	76	24	3
<b>Ano horizonte (Ano 15)</b>	21	33	33	218	191	380	304	559	252	158	50	6

### 6.1.2.2 Caracterização das Origens de Água Disponível para Rega

Na actualidade, toda a água utilizada na rega do Parque Urbano, é única e exclusivamente proveniente da rede de abastecimento público. Em termos teóricos, a utilização de águas residuais tratadas nesta zona iria apresentar-se como uma prática vantajosa do ponto de vista de conservação da água potável, deixando esta para outros fins onde a água é necessária com maior qualidade.

### 6.1.2.3 Caracterização da Flora do Parque Urbano

O Parque Urbano representa o “pulmão” da cidade de Ermesinde, onde a conjugação da diversidade de espécies herbáceas torna este parque, um lugar apelativo para a população. Como se observa na Figura 25, neste parque, podem ser vistos variadíssimas espécies de árvores e de flores, proporcionando uma agradável fragrância. A excelente qualidade dos relvados verdes é usada para as brincadeiras das crianças, tornando-se num local muito requisitado. Relativamente aos arbustos, existem em menor quantidade, e apesar de não serem tão estéticos, nomeadamente, como as flores, a sua existência no parque é também importante pois, nalgumas situações, funciona como a divisão entre o interior e o exterior do Parque Urbano.



**Figura 25** – Fotografias tiradas no Parque Urbano indicando uma elevada vegetação.

### 6.1.3 CRUZAMENTO ENTRE A PROCURA E A OFERTA

Depois de caracterizadas as disponibilidades por parte da ETAR de Ermesinde, e também as necessidades sobre o consumo de água potável no Parque Urbano, é analisado se existe alguma limitação de ambas as partes.

#### 6.1.3.1 Cruzamento entre as Disponibilidades e as Necessidades de Água

A ETAR de Ermesinde disponibiliza caudal suficiente para fazer face às necessidades de rega do Parque Urbano, uma vez que a ETAR trata cerca de 8.000 m<sup>3</sup>/dia, enquanto o caudal necessário para rega do Parque,

no dia de maior consumo para o ano horizonte é de 559 m<sup>3</sup>/dia, logo pode-se afirmar que não existirá qualquer limitação de disponibilidade de água residual. Referir, ainda, que a ETAR de Ermesinde utilizará, para consumo interno, cerca de 50 m<sup>3</sup>/dia para usos internos.

#### 6.1.3.2 Armazenamento da Água Residual Tratada

No que diz respeito ao armazenamento da água residual na ETAR, neste estudo, optou-se por propor a implementação de um poço de bombagem que estará ligado por um sistema de vasos comunicantes que permitirá equalizar o efluente quando este for solicitado para a rega do parque. O caudal máximo de água que sairá do poço de bombagem passará, antes de sair da ETAR, pelo processo de tratamento proposto. Como já foi referido, uma parte da água residual tratada será utilizada para aplicações internas, como por exemplo, lavagem das centrífugas, diluição das soluções de polímero, água para a lavagem de pavimentos e equipamentos, entre outros.

Relativamente ao armazenamento da água residual tratada no Parque Urbano, a opção recaiu sob um reservatório fechado, subterrâneo, na proximidade deste local. A implementação deste reservatório visa manter funções de volante de regularização e disponibilizar água suficiente para as solicitações da rede de distribuição. De salientar, ainda, que optou-se por um reservatório fechado, pois este tipo de reservatório apresenta menos problemas do que os reservatórios abertos, como foi referido no subcapítulo 5.2.1.

A água que sai da ETAR será, então, distribuída e armazenada (o volume de saída denominou-se “volume de adução”). Esta alimentação da água residual tratada será realizada em 12 horas por dia (consideração técnica), perfazendo, no ano horizonte, um caudal máximo de aproximadamente 560 m<sup>3</sup>/dia. Considera-se que a distribuição será realizada maioritariamente durante a noite por questões económicas, pois os custos de tarifário de electricidade são inferiores e, também, devido a aspectos de ordem dimensional no que diz respeito ao reservatório. Mas no entanto, existirá uma quantidade que será distribuída entre as 14h00 e 18h00, de forma a permitir aos colaboradores da ETAR de Ermesinde analisarem o funcionamento do equipamento e a qualidade da água.

Por outro lado, através de informações recolhidas na CMV, foi referido que a rega no Parque Urbano, é efectuada 8 horas por dia entre as 22h00 e as 6h00, com percentagens de caudal diferente (denominado de “volume aplicado”).

Na Tabela 24, estão representados a distribuição dos valores referentes ao volume aplicado e ao volume de adução, para cada período em estudo.

**Tabela 24** – Valores relativos ao volume aplicado e volume de adução, para cada período em estudo.

Período	1	2	3	4	5	6	Total
Horário	0h às 3h	3h às 6h	6h às 14h	14h às 18h	18h às 22h	22h às 0h	(m³/dia)
<b>Volume aplicado (m³)</b>	279,5	186,3	0,0	0,0	0,0	93,2	559,0
<b>Volume de adução (m³)</b>	186,3	186,3	0,0	93,2	0,0	93,2	559,0

De acordo com os dados apresentados na Tabela 24, é possível determinar o volume de água armazenado para cada período, correspondente ao dia de maior consumo para o ano horizonte de projecto, a partir da Expressão 10. Os resultados obtidos encontram-se indicados na Tabela 25.

$$Volume\ armazenado_n = Volume\ armazenado_{n-1} + Volume\ aplicado_n - Volume\ adução_n \quad (10)$$

sendo:

n – período corrente.

**Tabela 25** – Valores obtidos para o volume armazenado em cada período, para o dia de maior consumo no ano horizonte.

Período	1	2	3	4	5	6
Horário	0h às 3h	3h às 6h	6h às 14h	14h às 18h	18h às 22h	22h às 0h
<b>Volume armazenado (m³)</b>	93,2	93,2	93,2	0,0	0,0	0,0

Através da observação da Tabela 25, é de se destacar que o volume máximo armazenado em cada período é de 93,2 m³, logo a capacidade do reservatório a construir no Parque Urbano terá de ser no mínimo de 93,2 m³, arredondando-se por excesso, 95 m³.

Para além da hipótese de implementar um reservatório, analisou-se, também, a possibilidade de colocar as águas residuais tratadas na lagoa artificial existente no parque (vidé Figura 26), pois esta tem uma capacidade de 1.750 m³. No entanto, optou-se por não considerar esta hipótese pois, neste lago, não existe qualquer protecção logo existiria o risco de alguém cair sobre o lago criando transtornos desnecessários. Também devido ao facto de a água residual, uma vez que apresenta qualidade inferior á água potável, pode por vezes, apresentar alguma tonalidade, podendo inclusive levar à formação de algas.



**Figura 26** – Fotografia do lago artificial existente no Parque Urbano.

### 6.1.3.3 Transporte da Água Residual Tratada

O transporte proposto das águas residuais urbanas da ETAR de Ermesinde para o reservatório construído no Parque Urbano será através de um sistema de distribuição subterrâneo. Como tal, é fundamental proceder ao dimensionamento das bombas a instalar, responsáveis pela distribuição da água residual. Para o dimensionamento em questão foi necessário calcular duas bombas (para o período 1/2 e período 6), uma vez que o volume de adução é diferente ao longo do dia, como se pode observar na Tabela 24. Pois caso fosse efectuado o dimensionamento para o caudal máximo diário ( $559 \text{ m}^3/\text{dia}$ ) a bomba a instalar nunca iria render o máximo das suas capacidades ao longo da vida útil do projecto, tornando-se num investimento desadequado.

Na Tabela 26, encontram-se os critérios adoptados para a obtenção do diâmetro da conduta e da altura manométrica total.

**Tabela 26** – Critérios adoptados para o dimensionamento da bomba pretendida.

Período	1 e 2	6
Natureza da conduta	PVC	PVC
Q ( $\text{m}^3/\text{dia}$ )	186,3	93,2
U (m/s)	1,0	1,0
g ( $\text{m/s}^2$ )	9,8	9,8
$\vartheta$ ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) a $20^\circ\text{C}$	$1 \times 10^{-6}$	$1 \times 10^{-6}$
Tempo de adução (h/dia)	3	2
k* (mm)	0,005	0,005

\*Valor médio da rugosidade absoluta equivalente para escoamentos turbulentos uniformes (MSPC, 2008).

Uma vez que o caudal é conhecido e, assumindo uma velocidade de  $1 \text{ m/s}$  foi possível obter o valor do diâmetro da conduta correspondente ao período 1 e 2. Estes resultados encontram-se expostos na Tabela 27.

**Tabela 27** – Valor do diâmetro da conduta obtido para o período 1 e 2.

Parâmetro	Valor obtido
Q ( $\text{m}^3/\text{dia}$ )	186,3
Q ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	0,017
A ( $\text{m}^2$ )	0,017
D (mm)	148,2
D <sub>adoptado</sub> (mm)	150

Depois do diâmetro calculado é necessário averiguar o valor da velocidade, para o período 6, de forma a determinar se é necessário construir outra conduta com dimensões diferentes. Os valores obtidos encontram-se na Tabela 28.

**Tabela 28** – Verificação do valor da velocidade para o período 6.

Parâmetro	Valor obtido
Q (m <sup>3</sup> /dia)	93,2
Q (m <sup>3</sup> /s)	0,013
D <sub>adoptado</sub> (mm)	150
U (m/s)	0,74

Observando a Tabela 28, verifica-se que o valor da velocidade obtido não difere significativamente do valor de velocidade atribuído (1m/s) logo não existe necessidade de implementar outra conduta de dimensões diferentes uma vez que a perda de carga atingida será mínima.

Deste modo, é possível determinar as alturas manométricas totais para os períodos em estudo, iniciando com o cálculo da perda de carga contínua,  $\Delta H_p$ . Todos os valores apresentados na Tabela 29 foram obtidos através das Expressões 3, 4, 5 e 6, respectivamente, indicadas no subcapítulo 5.2.2.

**Tabela 29** – Valor obtido para as perdas de cargas contínuas.

Parâmetro	Período 1 e 2	Período 6
D (mm)	150	150
k (mm)	0,005	0,005
$\nu$ (m <sup>2</sup> /s) a 20°C	1x10 <sup>-6</sup>	1x10 <sup>-6</sup>
Re	146422	109875
$\lambda$	0,0167	0,0178
U (m/s)	1	0,74
g (m/s <sup>2</sup> )	9,8	9,8
J (m/m)	0,0055	0,0033
L(m)	1500	1500
$\Delta H_p$ (m.c.a.)	8,19	4,88

Em relação à perda de carga localizada,  $\Delta H_L$ , neste estudo, foi considerada desprezável pois o valor da velocidade adoptado é baixo, o que torna o valor da perda de carga localizada substancialmente mais baixo quando comparado com o valor da perda de carga contínua,  $\Delta H_p$  (vidé Tabela 30).

**Tabela 30** – Valor adoptado para a perda de carga localizada.

Parâmetro	Período 1 e 2	Período 6
$\Delta H_L$ (m.c.a.)	0,0	0,0

Finalmente, o resultado da altura manométrica total obtido entre a ETAR de Ermesinde e o reservatório do Parque Urbano foi efectuado pelas Expressões 1 e 2, e estão apresentados na Tabela 31.

**Tabela 31** – Valor obtido para as alturas manométricas totais.

Parâmetro	Período 1 e 2	Período 6
Cota topográfica da ETAR de Ermesinde (m)	75	75
Cota topográfica do reservatório no Parque Urbano (m)	105	105
$\Delta H_p$ (m.c.a.)	8,19	4,88
$\Delta H_L$ (m.c.a.)	0,0	0,0
$\Delta H_T$ (m.c.a.)	38,19	34,88

Após a obtenção destes resultados, foi possível seleccionar as bombas com características capazes de cumprir as necessidades pretendidas. As bombas escolhidas foram da marca Caprari Bombas S.A., cujas características e design estão representadas na Tabela 32 e Figura 27, respectivamente.

**Tabela 32-** Características das bombas escolhidas para os períodos em estudo.

Características da bomba	Período 1 e 2	Período 6
Tipo	Bomba Centrífuga com eixo Horizontal	Bomba Centrífuga com eixo Horizontal
Diâmetro de entrada (mm)	125	100
Diâmetro de saída (mm)	100	80
Potência (kW)	14	8
Caudal (l/s)	17,3	12,9
Pressão (m.c.a.)	43,5	35,0
Rotações (RPM)	1450	1450


**Figura 27** – Exemplo de uma bomba centrífuga Horizontal.

#### 6.1.3.4 Soluções de Tratamento

As duas propostas de tratamento que são descritas vão incidir na passagem dos efluentes através de uma etapa de filtração seguida de sistemas de desinfecção (Alternativa I – desinfecção por UV; Alternativa II – desinfecção por ozono), de forma a inactivar os microrganismos, onde de acordo com a NP 4434-2005, o teor máximo de coliformes fecais é cerca de 200 NMP/100L. No que diz respeito à qualidade dos sólidos totais no efluente tratado da ETAR, no ano de 2008, a média atingida para os SST foi cerca de 40 mg/l, logo a implementação de uma etapa de filtração, constituída pela microfiltração, a montante do processo de desinfecção é essencial para



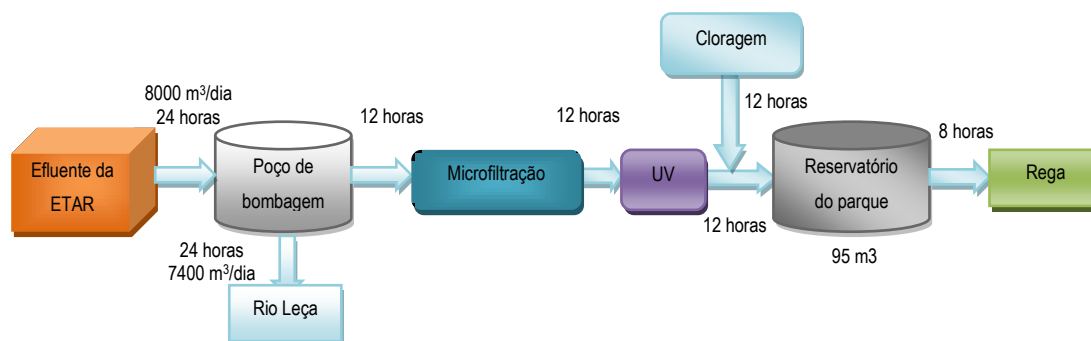
a aplicação de águas residuais tratadas na rega, pois os sólidos (devido ao seu teor e dimensões) não devem entupir os aspersores.

As soluções de tratamento propostas terminam com a aplicação de uma pós-cloração, à saída da ETAR, na água que será distribuída, de modo a garantir uma quantidade de cloro residual livre. Este procedimento, prevenirá o aparecimento de biofilme nas tubagens, assim como o reaparecimento de microrganismos patogénicos nas águas residuais tratadas. No entanto, dado que o cloro se decompõe com o tempo, a concentração que surge no final das condutas é menor do que aquela que é colocada na ETAR, logo recomenda-se também a instalação de sistemas de doseamento de cloro automáticos, baseados no ponto crítico da concentração residual livre aconselhada (Alves, 2007).

Da mesma forma, com o objectivo de diminuir o consumo de cloro nas tubagens deve-se proceder a limpezas periódicas das mesmas, através de purgas, para eliminar os limos e organismos que se desenvolvem no interior. Nestas ocasiões as condutas devem ser isoladas e, após o tratamento, devem ser bem lavadas antes de se reiniciar o sistema de distribuição. Com isto, evita-se que as doses de cloro utilizadas nas lavagens cheguem aos pontos de aplicação, prevenindo-se possíveis danos.

Por fim, devem, ainda, ser elaborados e implementados planos de higienização regular do reservatório a construir no Parque Urbano (Alves, 2007; IRAR 2007).

## ALTERNATIVA I



**Figura 28** - Solução de tratamento complementar proposta para a alternativa I.

Conforme se observa na Figura 28, o tratamento adicional é composto, inicialmente, por um poço de bombagem que divide o caudal que vai sendo descarregado no rio Leça e o caudal que vai ser utilizado na rega do Parque Urbano. Este efluente sofre uma etapa de microfiltração, com o intuito de retirar os sólidos suspensos existentes no efluente. O equipamento proposto para a filtração denomina-se de filtro automático tipo “Giradisc” com auto-limpeza, constituído por uma malha com um grau de filtração de 50 microns e uma pressão de trabalho que pode variar entre 1 bar e 10 bar, sendo que a pressão mínima necessária para a operação de lavagem são no mínimo de 4 bar. De salientar, ainda, a sua superfície de filtração que é equivalente a 6260 cm². No Anexo E, encontra-se a descrição detalhada deste equipamento.

De seguida, o efluente passará por um sistema de desinfecção por UV em linha de modo a garantir na água de serviço um teor em coliformes fecais inferior a 200NMP/100mL. O sistema de desinfecção por UV proposto é composto por 14 lâmpadas de baixa pressão, com potência absorvida pelo reactor de 2800 W, cujo tempo de vida útil das lâmpadas é de 16000 h. A dose de UV aplicada pelo reactor é de 60 mJ/cm<sup>2</sup>. Igualmente, a descrição detalhada deste equipamento esta representada no Anexo E. Referir, ainda, que a transmitância aplicada será de 55%, uma vez que o efluente a montante desta etapa sofrerá uma microfiltração, pois caso este facto não se verificasse a transmitância aplicada teria de ser inferior, como se pode observar na Tabela 33 (esta informação foi retirada da memória descritiva e justificada sobre a Construção da ETAR de Chaves).

**Tabela 33** – Valores da transmitância consoante o tipo de filtração.

Tipo de tratamento	Filtração por membrana	Filtração em areia	Transmitância (%)
Tratamento Biológico + Decantador Secundário	Não	Não	50
Tratamento Biológico + Decantador Secundário	Sim	Não	55
Tratamento Biológico + Decantador Secundário	Não	Sim	60

O equipamento proposto, de desinfecção por UV, será de sistema fechado, vidé Figura 29, pois apresenta algumas vantagens quando comparado ao sistema de desinfecção por UV em canal aberto. Uma dessas vantagens é que assegura o contacto de todos os microrganismos com a radiação UV, ao contrário, do que sucede em muitas ocasiões, quando a água residual é desinfectada em canal aberto. Em termos de segurança eléctrica, este sistema mantém as suas ligações “a seco”, evitando-se qualquer problema de infiltração de água, garantindo uma absoluta segurança eléctrica. Em termos de manutenção trás outras vantagens, no que diz respeito, à facilidade de substituição da lâmpada ou balastro, possuindo, também, um sistema de limpeza automático motorizado.

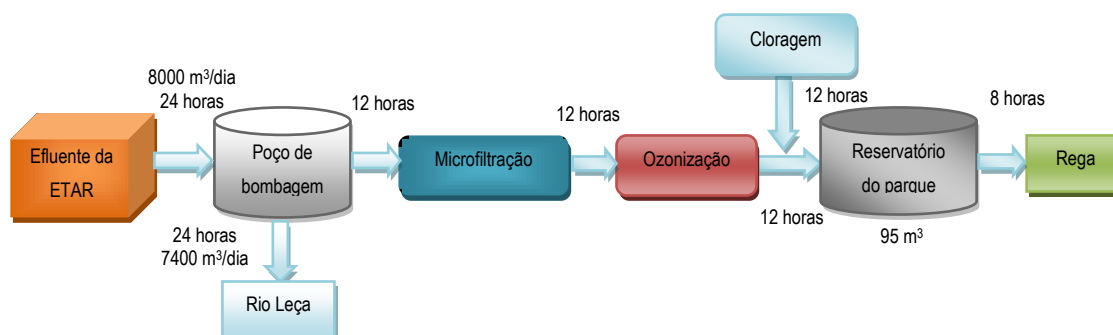


**Figura 29** – Sistema de Desinfecção por UV em canal fechado.

Como já foi referido, ainda, antes do efluente tratado ficar disponível para rega, à saída da ETAR, irá sofrer uma desinfecção por cloragem, de forma a garantir uma barreira sanitária ao longo de todo o sistema de distribuição, devendo conter um teor de cloro residual livre. A concentração de 0,5 mg/l de cloro residual livre na água, para um tempo de contacto de 30 minutos, é suficiente para garantir uma desinfecção satisfatória (Alves, 2007).

## ALTERNATIVA II

Relativamente a esta Alternativa II, a solução de tratamento proposta é muito semelhante à apresentada para a Alternativa I. A única fase do tratamento que difere corresponde à desinfecção, uma vez que para este caso é composta por ozonização, como se observa na Figura 30.



**Figura 30** - Solução de tratamento complementar proposta para a Alternativa II.

A composição deste tipo de equipamento é mais complexa do que o equipamento de desinfecção por UV. De forma a poder seleccionar a capacidade do equipamento pretendido foi estimado, inicialmente, a necessidade de ozono que será utilizado, encontrando-se esses resultados na Tabela 34.

**Tabela 34** – Cálculo da necessidade de ozono a aplicar.

Parâmetro	Unidades	Valor
Caudal de efluente a desinfectar	m³/h	46,6
Quantidade de ozono a aplicar	mgO <sub>3</sub> /L	10
Necessidade de O <sub>3</sub>	gO <sub>3</sub> /h	466
Redução do rendimento até 20% para compensar tubos fora de serviço	%	80
Necessidade de O <sub>3</sub> dimensionada	gO <sub>3</sub> /h	582,3

Assim, a proposta passará por um ozonizador, que funcionará com oxigénio, e com as seguintes características básicas:

- Produção nominal a 10%: 581,9 gO<sub>3</sub>/h
- Consumo de oxigénio: 4,08 Nm³/h
- Água de refrigeração: 0,88 m³/h
- Consumo de energia: 8,55 kW/h

O ozonizador deverá receber oxigénio gasoso, filtrado a 0,1 microns e a uma pressão de 2,5 a 3 bar, onde o sistema de injeção de ozono será constituído por difusores cerâmicos, rampa em aço inox e válvula de retenção e seccionamento. Por fim, será instalado um destruidor de ozono residual, na saída da câmara de contacto, do tipo catalítico com ventilador com o objectivo de destruir o ozono que não reagiu e que não pode ser

directamente enviado para atmosfera (informações adicionais sobre este equipamento encontram-se no Anexo E).

De seguida, tal como refere na Alternativa I, à saída da ETAR, o efluente tratado irá sofrer uma etapa de pós cloragem com hipoclorito de sódio, de forma a garantir uma barreira sanitária ao longo de todo o sistema de distribuição. No final, as águas residuais tratadas serão distribuídas para o reservatório do Parque Urbano, ficando disponíveis para a rega. Com objectivo de avaliar o sucesso desta etapa de pós cloragem, foi realizado uma experiência laboratorial visando determinar qual a dosagem de cloro a adicionar para manter a concentração de cloro residual pretendida.

#### 6.1.3.4.1 Etapa da Cloragem

Referir, ainda, que para dimensionar o equipamento necessário para a etapa de cloragem é essencial determinar a dosagem de cloro a adicionar, uma vez que esta varia de acordo com uma série de factores, nomeadamente, sobre as características da água residual.

O sistema de desinfecção pode ser projectado em função do cloro residual livre a ser mantido no efluente final ou, em função do número máximo de coliformes fecais admitido. Neste sentido, como já foi referido, desenvolveu-se uma experiência laboratorial para determinar a dosagem óptima de cloro, para atingir uma concentração de cloro residual livre de 0,5 mg/L, para um tempo de contacto de 30 minutos. Neste tipo de ensaios, os testes laboratoriais são uma ferramenta importante para se determinar a concentração de cloro requerida. No entanto, caso não fosse possível efectuar a experiência em laboratório, na ausência de dados mais específicos, dever-se-ia utilizar valores superiores às dosagens indicadas na Tabela 35.

**Tabela 35** – Dosagens típicas de cloro para desinfecção de efluentes brutos e tratados (Eddy & Metcalf, 1991).

Aplicação	Faixa de dosagem (mg/L)
Efluente bruto	6 a 25
Efluente primário	5 a 20
Efluente do tratamento biológico	2 a 8
Efluente filtrado (após tratamento biológico)	1 a 5

Nesta experiência, a água utilizada neste ensaio foi proveniente da ETAR do Freixo (efluente desinfectado por UV). Esta opção deveu-se ao facto do tratamento existente na ETAR de Ermesinde terminar com tratamento secundário, não contemplando o tratamento adicional de desinfecção necessário à realização desta experiência. Tal como referido, anteriormente, a proposta apresentada, para este estudo de caso, baseia-se na aplicação da etapa de cloragem que deve ser precedida de desinfecção por UV ou por ozono.

O método analítico utilizado para a realização desta experiência foi o *Procedimento Titulométrico Palin DPD*. Na utilização deste método, a solução dietil-*p*-fenilenodiamina (DPD) produz uma cor vermelha estável, na presença

de compostos clorados residuais, os quais são descoloridos, instantaneamente, pela titulação com sulfato ferroso amoniacal (FAS).

No entanto, também com o objectivo de diferenciar o cloro residual livre e o cloro combinado foi necessário adicionar iodeto de potássio (KI), onde o cloro livre disponível reage instantaneamente com o DPD, para produzir uma cor vermelha. A adição subsequente de uma pequena quantidade de KI actua como catalisador para induzir as monocloraminas a produzir uma coloração imediata. A continuação da adição de KI em excesso produz uma rápida resposta das dicloraminas. A cor produzida em cada ensaio é titulada até ao ponto final ficar incolor. As tricloraminas são normalmente incluídas na fracção das dicloraminas (D.Eaton et al., 1995).

Os resultados obtidos após a realização da experiência encontram-se expostos na Tabela 36. Nesta experiência, também, foi determinado a concentração de azoto amoniacal, pois este parâmetro interfere na dosagem de cloro a adicionar para o processo de desinfecção, vidé Tabela 37. O método usado para determinar o azoto amoniacal encontra-se no Anexo E.

**Tabela 36 – Dosagem de cloro obtida para os três ensaios.**

Dosagem de cloro	1º Ensaio			2º Ensaio			3º Ensaio		
	(48,8 mg/L)			(58,8 mg/L)			(53,6 mg/L)		
Tempo (min)	Cl <sub>2</sub> livre (mg/l)	NH <sub>2</sub> Cl (mg/l)	NHCl <sub>2</sub> (mg/l)	Cl <sub>2</sub> livre (mg/l)	NH <sub>2</sub> Cl (mg/l)	NHCl <sub>2</sub> (mg/l)	Cl <sub>2</sub> livre (mg/l)	NH <sub>2</sub> Cl (mg/l)	NHCl <sub>2</sub> (mg/l)
0	2,80	7,10	0,90	4,80	3,80	0,80	3,70	5,10	1,00
4	1,60	1,10	0,80	3,40	0,60	0,50	2,10	0,70	0,70
8	1,00	0,90	0,90	2,30	0,50	0,50	1,10	0,70	0,70
15	0,40	0,80	0,80	2,00	0,60	0,60	0,70	0,50	0,50
22	0,40	0,90	0,80	1,50	0,60	0,40	0,50	0,50	0,50
30	0,20	0,80	0,70	1,00	0,40	0,40	0,50	0,50	0,40

**Tabela 37 – Resultado obtido para a concentração de azoto amoniacal na água bruta.**

Concentração de azoto amoniacal obtida na água bruta (mg/l)
4,59

Como se pode observar na Tabela 36, as dosagens de cloro analisadas são bastante superiores às referidas na Tabela 35, com valores de 1 a 5 mg/L, isto porque, estes valores estão dimensionados para uma concentração de azoto amoniacal de 1 mg/L. Logo, como o resultado obtido nesta experiência foi de 4,59 mg/L, aliado ao facto de o rácio Cloro/Azoto amoniacal corresponder a 7,6 mg/L, determina-se a dosagem de cloro a aplicar apenas para remover o azoto amoniacal presente na água (34,88 mg/L), através da Expressão 11.

$$D_{Cl_2} = R_{Cl_2/NH_3} \times C_{NH_3} \exp \quad (11)$$

sendo:

$D_{Cl_2}$  - Dosagem de cloro a aplicar para reagir com o azoto amoniacal; (mg/l)

$R_{Cl_2/NH_3}$  - Rácio cloro/azoto amoniacal (7,6 mg/l) (A.Brooks, 1999)

$C_{NH_3} \exp$  - Carência de azoto amoniacal obtida da experiência (4,59 mg/l);

No processo de reacção do cloro com o azoto amoniacal, vão-se formando, simultaneamente os compostos monocloramina e dicloramina, que terão na fase seguinte de ser removidos, necessitando, ainda, de uma maior quantidade de dosagem de cloro para oxidar estes compostos, de forma a manter uma concentração de cloro residual livre de 0,5 mg/L. Por esta razão a concentração de cloro mais indicada seria a referente ao 3º ensaio com uma concentração de 53,6 mg/L.

No entanto, pode-se afirmar com clareza que esta etapa de cloragem é inviável, pois seria necessário adicionar grandes quantidades de cloro, tornando um processo muito caro, perigoso, pois o cloro usado em grandes quantidades é muito tóxico e sua autonomia é muito reduzida. Outra crítica que pode ser apontada, é o facto de a água usada não se encontrar nas condições pretendidas, como se pôde verificar através do valor obtido da concentração de azoto amoniacal. Uma opção que pode ser tomada com o objectivo de baixar a concentração de azoto amoniacal é aumentar o pH no processo biológico, no entanto este acréscimo de pH influencia negativamente a eficiência da cloragem, logo poderá levar a uma contradição.

Por fim salientar, que caso estes resultados se confirmem para o efluente final produzido na ETAR de Ermesinde, e se este efluente, para além da rega, for utilizado para abastecer e/ou reabastecer o lago artificial existente no Parque Urbano, terá, forçosamente, de se implementar um tratamento complementar, no parque, que possibilite uma água transparente de forma a ser possível o abastecimento do lago. Contudo, se o efluente produzido na ETAR de Ermesinde estiver com concentrações baixas de azoto amoniacal, teoricamente a aplicação desta etapa de cloragem, à saída da ETAR, é uma boa solução para manter uma água desinfectada e por consequência originar uma água translúcida.

Uma vez que perante estes resultados obtidos, a etapa de cloragem é inviável, a sua utilização fica restrita única e exclusivamente à rega dos espaços verdes existentes no Parque Urbano.

#### *6.1.3.5 Plano de Gestão da Rega do Parque Urbano*

Como já foi referido no subcapítulo 4.2.3, as regas devem ser executadas durante a noite, ou seja, fora do horário de acesso público. Como no Parque Urbano a rega é realizada pelo método de aspersão, todos os aspersores devem medir a velocidade do vento através de um anemómetro amovível, sendo que a rega não se deve iniciar quando for detectado que o vento é suficiente para provocar o arrastamento das gotículas para fora da zona a regar. No caso de a rega já estar em curso aquando da ocorrência de ventos com velocidade elevada, esta deve ser suspensa de imediato. O acesso do público aos terrenos durante a realização das regas deve ser impedido de forma a minimizar o risco de contacto com as águas residuais tratadas (NP4434, 2005).

Relativamente ao afastamento entre parque e as zonas habitacionais, dado que o método de rega executado é por aspersão e que a concentração a atingir para os coliformes fecais deve ser menor que 200 UCF/100mL, determinou-se que o valor da distância mínima a cumprir é de 50 m (vidé Tabela 4 – subcapítulo 4.2.2.2).

No entanto, as distâncias entre o parque e as zonas habitacionais são relativamente curtas, ficando abaixo dos 50 m, por esta razão a área regada deve ser isolada por meio de cortinas de protecção (sebes ou cortinas de material adequado). Numa das zonas do parque, este é protegido por muros, conforme se pode observar na Figura 31, constituindo uma protecção muito densa.



**Figura 31** – Fotografias de duas zonas que limitam a divisão entre o interior e o exterior do Parque Urbano.

De acordo com a Figura 32, noutra zona do parque, os arbustos existentes podem funcionar como cortina de protecção, de modo a formar uma barreira que evite o transporte das gotículas pelo vento.



**Figura 32** – Fotografias de outras divisões do Parque Urbano.

No que diz respeito à última zona constituída por espaços verdes que são regados, vidé Figura 33, neste local a rega deve ser efectuada com cuidado pois não existe qualquer protecção sobre as zonas habitacionais. Uma alternativa ao facto de não existir protecção, será diminuir a pressão do aspersor de rega, dado que a dimensão dos espaços verdes é pequena, logo o número de gotículas que serão projectadas vão ser menores.



**Figura 33** – Fotografia da zona menos protegida do Parque Urbano.

### 6.1.3.6 Controlo da Instalação

No que diz respeito ao controlo da instalação, tanto a CMV como a ETAR de Ermesinde são responsáveis por controlar e gerir a instalação de uma forma repartida.

A CMV responsável pelo Parque Urbano deve possuir, como já foi referido, os seguintes documentos:

- Mapa de registos de nutrientes e metais pesados aplicados ao solo;
- Boletins de análise referentes à água utilizada na rega;
- Plano de fertilização referente à totalidade da área.

No *Mapa de Registos de Nutrientes e Metais Pesados Aplicados ao Solo* devem ser registados os seguintes pontos:

- Volumes de água aplicado diariamente ao solo;
- Concentração dos nutrientes (azoto, fósforo e potássio (K)) na água de rega;
- Concentração dos metais pesados na água de rega;
- Quantidades de nutrientes e metais pesados aplicados.

Apesar do registo dos volumes de água aplicados serem diários, o cálculo das quantidades de nutrientes e metais pesados aplicadas será feito no final de cada mês.

Assim, o cálculo da quantidade de cada um dos nutrientes e dos metais pesados aplicados por hectare foi realizada utilizando a Expressão 12.

$$M = \frac{V \times C}{1000} \quad (12)$$

onde:

M - quantidade do nutriente ou do metal pesado aplicada, por ha, no período em questão (dia, semana, mês ou outro), expressa em kg;

V- Volume de águas residuais tratadas aplicado, por ha, no mesmo período, expresso em m<sup>3</sup>;

C - Concentração do nutriente ou do metal pesado na água utilizada, durante o período em que se aplicou o volume V, expressa em mg/L.

Os principais problemas que sucedem na rega de espaços verdes estão associados às quantidades de macronutrientes principais: N, P e K, existentes na água residual, pois estes em grandes quantidades causam problemas à fertilização do solo. Neste sentido, foram calculadas as quantidades de P e N, através da Expressão 12, e indicadas na Tabela 38 e 39, respectivamente. Relativamente ao K, não existem valores, pois actualmente a ETAR de Ermesinde não efectua análises a este parâmetro.



**Tabela 38** – Quantidade de Fósforo Total (PT) veiculada pelas águas residuais tratadas da ETAR de Ermesinde calculado para o ano de projecto.

	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez
<b>V<sub>Total</sub> (m³/dia)</b>	21	33	33	218	191	380	304	559	252	158	50	6
<b>V<sub>rega</sub> (m³/dia)</b>	12	20	20	131	115	228	182	336	151	95	30	3,7
<b>C<sub>PT</sub> (mg/L)</b>	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8
<b>M<sub>PT</sub> (Kg/dia/ha)</b>	0,07	0,12	0,12	0,76	0,67	1,32	1,06	1,95	0,88	0,55	0,17	0,02
<b>M<sub>PT</sub> (Kg/mês/ha)</b>	2,2	3,5	3,5	23	20	39,7	32	58,4	26	16	5,2	0,7

**Tabela 39** - Quantidade de Azoto Total (NT) veiculada pelas águas residuais tratadas da ETAR de Ermesinde calculado para o ano de projecto.

	Jan.	Fev.	Mar	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez
<b>V<sub>Total</sub> (m³/dia)</b>	21	33	33	218	191	380	304	559	252	158	50	6
<b>V<sub>rega</sub> (m³/dia)</b>	12	20	20	131	115	228	182	336	151	95	30	3,7
<b>C<sub>NT</sub> (mg/L)</b>	33,9	33,9	33,9	33,9	33,9	33,9	33,9	33,9	33,9	33,9	33,9	33,9
<b>M<sub>NT</sub> (kg/dia/ha)</b>	0,42	0,68	0,68	4,44	3,89	7,74	6,17	11,37	5,12	3,21	1,01	0,13
<b>M<sub>NT</sub> (kg/mês/ha)</b>	13	20	20	133	117	232	185	341	153	96	30	3,8

Como seria de esperar, existem maiores quantidades de N e P na época de Verão, pois o consumo de água residual é maior. No entanto, no início da época de Outono devem ser aplicadas quantidades destes nutrientes da ordem dos 500 kg/ha, com o objectivo de dar uma maior resistência ao frio e às geadas de forma a não apresentar carências destes nutrientes. Ainda assim, no início da Primavera (altura em que o crescimento é maior), deverá proceder-se a frequentes aplicações de azoto, de acordo com as necessidades evidenciadas pela relva, na ordem dos 20 a 50 kg/ha. (Quelhas dos Santos, 2002)

Referir, ainda, que o volume de água residual utilizado nestes cálculos (volume para rega) corresponde a 60% (consideração técnica) do volume total, pois a restante parte refere-se ao volume de água usado no abastecimento da lagoa artificial existente no parque.

Dado que a qualidade das águas residuais é assegurada apenas pelo tratamento efectuado na ETAR de Ermesinde, os *boletins de análise* a utilizar devem ser fornecidos pela própria ETAR, ficando responsáveis pela avaliação da qualidade das águas residuais.

Por fim, a CMV deve possuir um Plano de Fertilização, na qual deve constar:

- Boletim de Análise de Terra e/ou Boletins de Análise Foliar;
- Mapa de Cálculo das Quantidades de Nutrientes a Aplicar;
- Mapa de Programação da Fertilização;
- Mapa de Execução da Fertilização.

### 6.1.3.7 Monitorização

A ETAR de Ermesinde será responsável pelo controlo da qualidade das águas residuais tratadas até chegar ao reservatório existente no Parque Urbano, por outro lado, o controlo da qualidade da água no Parque Urbano caberá à CMV. A frequência das determinações do pH, salinidade, azoto total e inorgânico e fósforo, deverá ser, pelo menos semanal quer para a ETAR quer para a CMV. Deverá existir elevada cautela em relação ao parâmetro da salinidade, pois este em elevadas concentrações poderá afectar a relva, podendo mesmo destruí-la.

Relativamente ao solo, a CMV deverá analisar anualmente, os parâmetros do P, K, matéria orgânica e pH. Os metais pesados devem ser analisados, no mínimo, em cada cinco anos. Sempre que seja conveniente deve ser determinada a salinidade do solo.

Para os meios hídricos subterrâneos, as determinações são efectuadas no local da rega pelas pessoas responsáveis do parque, utilizando piezómetros<sup>3</sup>, para obter a salinidade da água através da medição da condutividade eléctrica e, a medição da profundidade dos níveis freáticos deve ser efectuada com uma periodicidade, no mínimo mensal e sempre no início e no final da época de rega. Deverá, igualmente, ser determinado o azoto nítrico e total em amostras de água recolhidas nos piezómetros, em origens de água localizadas nas parcelas regadas e na área envolvente das mesmas (NP4434, 2005).

### 6.1.4 AVALIAÇÃO ECONÓMICA

A última fase do estudo teve como objectivo comparar os custos totais actualizados das duas Alternativas propostas. Para tal, considerou-se os seguintes pontos:

- Investimento Inicial (equipamento e construção civil);
- Exploração (custos variáveis e custos fixos)
- Custos Totais Actualizados
- Lucros (tarifário de venda).

Na sequência da descrição técnica realizada para cada uma das soluções propostas de tratamento adicional, no presente capítulo, é realizada uma análise económica comparativa dos custos de investimento e exploração associados a cada um das soluções estudadas (vidé Tabela 40).

---

<sup>3</sup> Dispositivos que permitem a verificação expedita da profundidade dos níveis freáticos na zona regada e a colheita de amostras de água nos mesmos.

**Tabela 40** – Resumo dos critérios adoptados necessários para a análise económica para as duas Alternativas.

Item	Alternativa I	Alternativa II
Tratamento adicional	Filtração → Desinfecção por UV → Cloragem	Filtração → Desinfecção por Ozono → Cloragem
Construção de um reservatório fechado no Parque Urbano	95 m <sup>3</sup>	
Caudal utilizado para o ano horizonte	46,6 m <sup>3</sup> /h	
Ano horizonte do projecto	15 anos	
Tempo de funcionamento dos equipamentos	12 horas/dia	

#### 6.1.4.1 Estimativa dos Custos de Investimento

Com base nos órgãos integrantes dos esquemas de tratamento das duas soluções apresentadas, efectuou-se a estimativa de custos de investimento inicial, englobando os custos de aquisição do equipamento e de construção civil.

Os custos de investimento inicial, associados à construção civil, abrange os custos da construção de um edifício para o equipamento ser colocado, inclui também os custos da construção do reservatório no Parque Urbano, e encerra com o custo da construção da adutora, compreendida entre a ETAR e o parque. Por outro lado, foi discriminado os montantes previstos para o fornecimento e montagem do equipamento electromecânico e instalações eléctricas. Na Tabela 41, estão representados apenas os custos da construção civil.

**Tabela 41** – Custos estimados de construção civil para as duas Alternativas.

Item	Custo unitário	Alternativa I	Alternativa II
		(€)	
Edifício a construir na ETAR	-	65.000	
Interligação entre órgãos: abertura e tapamento do terreno para instalação de tubagem	31,46 €/m	47.200	
Montagem da tubagem de PVC	18,88 €/m	28.300	
Construção do reservatório em Betão	97,96 €/m <sup>3</sup>	9.310	
Poço de bombagem	18,42 €/m <sup>2</sup>	500	
<b>Custo total</b>	-	<b>150.310</b>	

Os resultados apresentados na Tabela 41, para as duas Alternativas, foram estimados com base em informações disponibilizadas pela empresa Águas de Valongo, S.A., nomeadamente através do capítulo orçamental incluído na Memória Descrita do Projecto Base da Ampliação da ETAR de Campo.

Na Tabela 42 e 43, encontram-se os custos estimados de aquisição de todos os equipamentos propostos.

**Tabela 42** – Custos estimados sobre a aquisição do equipamento para a Alternativa I.

Equipamento	Alternativa I (€)
Etapa de microfiltração	4.500
Etapa de desinfecção por UV	21.000
<b>Custo total</b>	<b>26.500</b>

**Tabela 43** - Custos estimados sobre a aquisição do equipamento para a Alternativa II.

Equipamento	Alternativa II (€)
Etapas de microfiltração	4.500
Etapas de desinfecção por ozono	50.000
<b>Custo Total do Equipamento</b>	<b>54.500</b>

Resumindo, os custos totais de investimento inicial (custos de equipamento mais os custos de construção civil) podem ser observados na Tabela 44.

**Tabela 44** – Custos Totais de Investimento Inicial para a Alternativa I e II.

Item	Alternativa I (€)	Alternativa II (€)
Construção civil	150.310	
Equipamento	26.500	54.500
<b>Custo Total de Investimento Inicial</b>	<b>176.810</b>	<b>204.810</b>

Através da observação da Tabela 44, verifica-se que a obra de construção civil é responsável pela maioria dos custos, cerca de 85% do total. Daí que projectos desta natureza, com reutilização para aplicações no exterior, por vezes tornam-se muito difíceis de se concretizarem.

#### 6.1.4.2 Estimativa dos Custos de Exploração

Na elaboração dos custos de exploração foram tidos em conta os seguintes elementos, descrevendo-se, de seguida, os diversos custos de exploração considerados.

- Encargos fixos de exploração, como sejam os encargos com pessoal, controlo analítico, manutenção e conservação;
- Encargos variáveis de exploração como os consumos de energia eléctrica e reagentes.

É de referir, que os valores dos encargos fixos são independentes do caudal a ser desinfectado, isto é, incluem-se os custos de manutenção e conservação que têm que ser incorridos independente do volume de caudal a ser desinfectado. Refere-se que outros encargos fixos, como custos de consumo de água, do controlo analítico e mão-de-obra não foram tidos em consideração nesta análise, pois estão internalizados nos custos associados ao funcionamento da ETAR de Ermesinde.

Os custos de manutenção e conservação foram estimados com base nas seguintes percentagens de custos de investimento inicial (Aquarec, 2006):

- Equipamento electromecânico – 3%
- Construção civil – 0,5 %

No que refere, aos encargos variáveis de exploração, estes reportam-se ao consumo das utilidades: energia eléctrica do equipamento e reagentes.

Relativamente aos custos de reagentes, estes também estão internalizados nos custos associados ao funcionamento da ETAR, logo também não foram tidos em consideração nesta análise.

O consumo de energia eléctrica foi apenas calculado para o equipamento de desinfecção por UV e por ozonização e também para as respectivas bombas propostas. Em termos de tarifário foi admitido um preço médio unitário para a energia eléctrica de 0,07 €/kWh (Aquarec, 2006).

Na Tabela 45 estão representadas as informações relativas à potência do equipamento e das bombas, bem como o respectivo horário de funcionamento anual.

**Tabela 45 – Potências do equipamento e das bombas e respectivo horário de funcionamento por ano.**

Equipamento	Horário de funcionamento (h/ano)	Alternativa I (kW)	Alternativa II (kW)
Desinfecção por UV	4.380	2,8	-
Desinfecção por ozonização	4.380	-	8,33
Bomba para o período 1 e 2	2.190		14
Bomba para o período 6	2.190		8

Os custos variáveis de exploração, serão actualizados, ao longo dos anos, recorrendo à Expressão 13.

$$f = \sum_{n=1}^{15} (1 + t)^n \quad (13)$$

em que:

f – factor de actualização;

t – taxa de actualização;

n – número de anos do período em análise.

Na Tabela 46, encontram-se resumidos, os custos de exploração anuais para o ano 0 e para o ano de projecto, ano 15, relativamente às Alternativas propostas. Referir, que para os custos de exploração variáveis, a taxa de actualização atribuída foi de 1,5%/ano.

**Tabela 46 – Encargos de exploração.**

Item	Custos de Exploração (€/ano)			
	Alternativa I		Alternativa II	
	Ano 1	Ano 15	Ano 1	Ano 15
<b>Custos variáveis</b>				
Energia eléctrica	4.295	5.289	6.015	7.410
<b>Custos fixos</b>				
Conservação e Manutenção		3.093		4.773
<b>Total dos custos de exploração</b>	<b>7.388</b>	<b>8.383</b>	<b>10.789</b>	<b>12.182</b>

É de salientar, que os resultados obtidos entre os custos fixos e os custos variáveis são bastante próximos.

#### 6.1.4.3 Estimativa dos Custos Totais Actualizados

Com o objectivo de permitir uma comparação económica correcta e imparcial entre as duas Alternativas consideradas, procedeu-se à estimativa dos custos totais actualizados, que indica a soma dos custos do investimento inicial com os custos de exploração, para a duração do projecto em estudo.

No final, este estudo permitirá perceber qual será a melhor Alternativa para ser implementada na ETAR de Ermesinde, e quais serão os lucros para o Parque Urbano, caso comece a usar água residual tratada proveniente da ETAR de Ermesinde.

Apresentam-se na Tabela 47 os custos totais actualizados para cada Alternativa proposta, de forma a avaliar-se qual a melhor solução de tratamento a considerar.

<b>Tabela 47 – Custos actualizados para as duas Alternativas.</b>		
<b>Custos actualizados a 15 anos</b>	<b>Alternativa I (€)</b>	<b>Alternativa II (€)</b>
<b>Custos de exploração</b>		
Custos variáveis	71.642	100.351
Custos fixos	46.396	71.596
<b>Investimento inicial</b>	176.810	204.810
<b>Custos Totais Actualizados</b>	<b>294.848</b>	<b>376.758</b>

Para ambas as Alternativas todos os resultados obtidos necessários neste estudo, encontram-se nas Tabelas 80 e 82 no Anexo D.

Relativamente às tarifas de venda de água residual aplicadas, o seu valor deve repercutir os custos adicionais que a entidade gestora tem de suportar, designadamente, pela afinação do tratamento, monitorização, armazenamento, distribuição e assistência local. Deve também incluir no cálculo da tarifa de venda de água residual o consumo de energia, custo de manutenção e reparação, bem como custos de pessoal e administrativos. Dada a impossibilidade de obter a totalidade destes dados e, de forma a minimizar o erro, foram escolhidas duas tarifas de venda, para as duas Alternativas, através de contactos realizados à ETAR de Sobreiras, para a Alternativa I, e através da Universidade do Algarve, para a Alternativa II. Assim, na Tabela 48, estão representadas as tarifas para as duas Alternativas propostas.

<b>Tabela 48 – Tarifa associada às duas Alternativas.</b>		
<b>Alternativa</b>	<b>I</b>	<b>II</b>
<b>Tarifa (€/m³)</b>	0,17	0,30

Referir, que a tarifa da Alternativa I, foi um valor utilizado pela própria ETAR de Sobreiras, em 2005, num projecto que vendia água residual tratada para o exterior, para rega de espaços verdes (Sustentável, 2005). No caso da tarifa da Alternativa II, o valor fornecido foi um valor de referência, utilizado num estudo para uma ETAR

(em 2003) desenvolvido pela Universidade do Algarve, com o objectivo de vender água residual para rega de campos de golfe, que entretanto, já não se encontra em vigor.

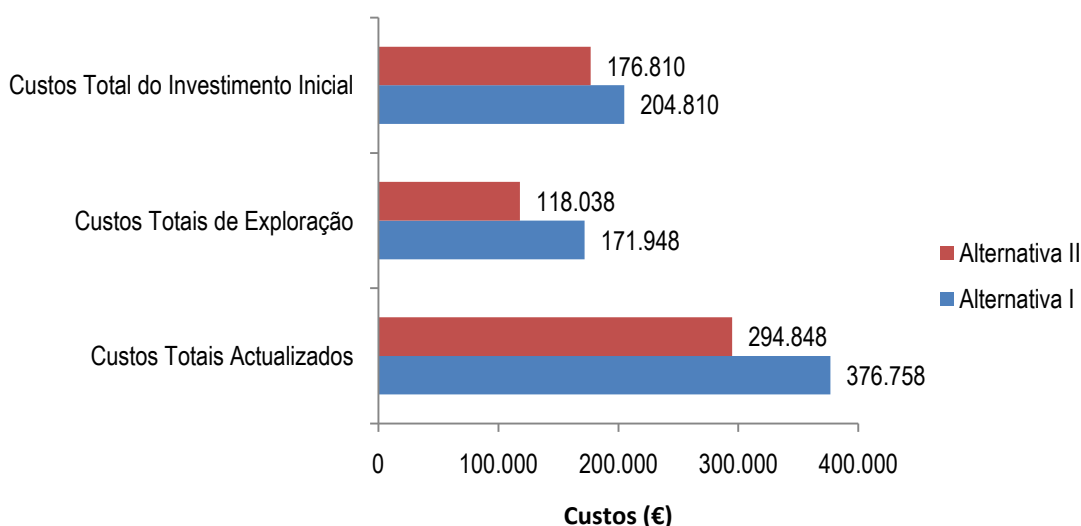
#### 6.1.5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Para além dos comentários parcelares que ao longo dos capítulos e subcapítulos foram apresentados sempre que se considerou pertinente, procura-se agora, em jeito de resenha final, enunciar as principais discussões susceptíveis de serem extraídas deste estudo.

Antes de se avaliar a possibilidade de reutilizar as águas residuais provenientes da ETAR de Ermesinde para aplicação na rega, deve-se analisar os parâmetros exigidos pelo Decreto-Lei nº 236/98 e pela NP 4434-2005, comparando com os resultados obtidos. Pode-se afirmar que neste estudo de caso, os parâmetros químicos encontram-se dentro dos limites estabelecidos, sendo, ainda, que a qualidade da água apresentará melhorias quando sofrer as etapas de tratamento propostos.

Após realizada a análise técnica, é de se referir que a Alternativa I é a melhor opção, quando comparado com a Alternativa II, pois é um processo que permite uma oxidação avançada, não provocando a formação de subprodutos e possui processos de funcionamento e manutenção mais simples.

Igualmente, em termos económicos, a Alternativa I é mais viável para ser implementada na ETAR de Ermesinde, vidé Figura 34, pois tanto os custos do investimento inicial, como os custos de exploração e respectivamente os custos totais actualizados são superiores aos custos apresentados pela Alternativa II.



**Figura 34** – Investimento Inicial, custos de exploração e custos totais actualizados da Alternativa I e II.

No entanto, apesar da Alternativa II apresentar um custo total actualizado superior ao obtido na Alternativa I, esta opção apenas difere cerca de 22%, diferença não muito acentuada para projectos desta natureza.

A tarifa praticada para a venda da água residual, no que respeita à Alternativa I, é um valor inferior quando comparado com a tarifa da Alternativa II. Ambas as tarifas são substancialmente inferiores à tarifa de água potável para consumo humano sendo, mais uma vez, a tarifa da Alternativa I mais barata.

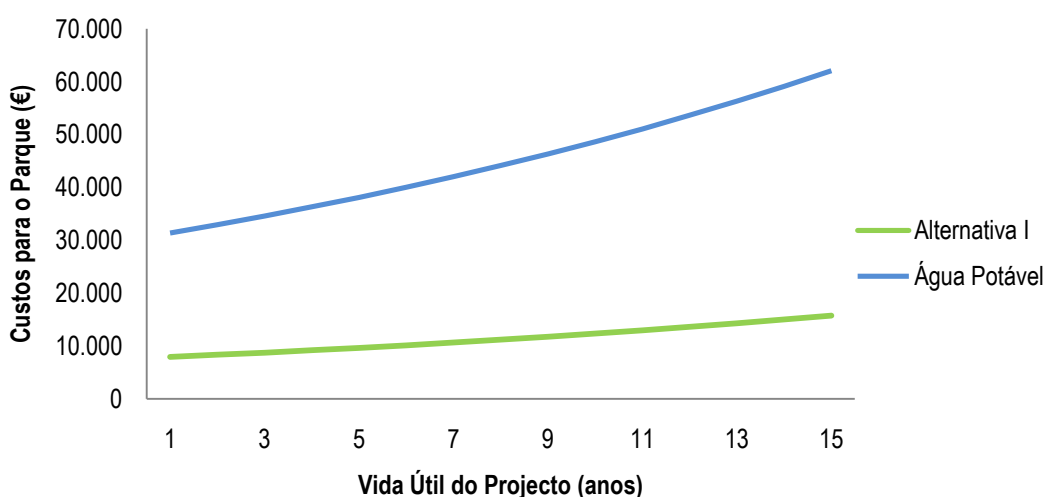
Uma vez que a Alternativa I é a opção mais viável, quando comparada com a Alternativa II, no Anexo D – Tabela 84 está efectuado o dimensionamento processual para esta opção caso seja implementada.

Assumindo que a empresa Águas de Valongo, S.A., aplicaria as tarifas relativas à drenagem da água residual tratada, constata-se que a CMV pouparia cerca de 75% em despesas associadas à água para rega do parque, tal como é possível observar na Tabela 49, apenas para o ano 1 e para o ano horizonte do projecto. A evolução de todos os custos totais de água potável e água residual tratada suportados pelo Parque Urbano, para as duas Alternativas, encontram-se expressos nas Tabelas 81 e 83 do Anexo D.

**Tabela 49** – Comparação dos custos totais em água potável e água residual tratada suportados pelo Parque Urbano, para a Alternativa I.

	Volume aplicado (m <sup>3</sup> /ano)	Custo da Água Residual Tratada			Custo da Água para Consumo Humano		
		Tarifário de venda 0,17 (€/m <sup>3</sup> )	Drenagem das águas residuais (0,4)	Custo Total (€/ano)	Tarifário de venda 0,67 (€/m <sup>3</sup> )	Drenagem das águas residuais (0,4)	Custo Total (€/ano)
<b>Ano 1</b>	33.422	5.682	2.273	7.954	22.392	8.957	31.349
<b>Ano 15</b>	66.172	11.249	4.500	15.749	44.335	17.734	62.070

Na Figura 35 pode-se observar a evolução dos custos que a CMV poderia reduzir caso efectua-se a rega do parque com água residual tratada, tendo em conta a Alternativa I.



**Figura 35** – Comparação dos custos atingidos para o Parque Urbano, caso a Alternativa I fosse implementada.

Em termos económicos, apesar deste projecto ser bastante lucrativo para a CMV, esta situação não corresponde a um projecto viável para a ETAR de Ermesinde, uma vez que o investimento total efectuado é demasiado elevado. Acrescenta-se, ainda, o facto do consumo de água no Parque Urbano ser reduzido, reforçando a ideia



de que o potencial destas soluções é bastante díspar comparativamente com outros projectos implementados nas zonas Sul do País. Nesta região, designadamente o Alentejo e o Algarve, apresentam um elevado potencial para a reutilização de efluentes em usos compatíveis, devido à maior escassez de recursos hídricos para consumo humano e rega. Por outro lado, a região Norte tem maiores disponibilidades de água e apresenta uma maior dispersão demográfica, este facto conduz a que os sistemas de tratamento de águas residuais sejam de reduzidas dimensões, onde o elevado investimento associado à implementação do tratamento adicional pode não se justificar (PEAASAR, 2007).

No entanto, este tipo de projectos não deve ser avaliado tendo em conta, somente, aspectos económicos, nem pelo facto das regiões do Norte de Portugal apresentarem disponibilidade de recursos hídricos. Há que conciliar benefícios ambientais, facilidade de exploração e alternativas às crescentes exigências dos requisitos de licenciamento de descarga dos efluentes nos meios receptores. Numa fase em que a tecnologia disponível é ainda algo dispendiosa e, por isso, os custos globais de um projecto são ainda significativos, poderá ser justificável a subsidiação e protecção deste tipo de investimentos.

No campo das suposições, pode-se, ainda, referir que caso este projecto fosse implementado, seriam necessários estudos mais rigorosos e complexos de forma a avaliar a evolução do processo e a ser possível tirar conclusões mais práticas. Ou seja, deverá proceder-se a análises microbiológicas à água residual, antes e depois de utilizada, análises ao solo, verificar a eficácia do equipamento em causa, avaliar as características da área a regar, efectuar ensaios de controlo e monitorização quer quando a água sai da ETAR, quer quando a água é utilizada para rega, de forma a averiguar mais cuidadosamente o sucesso do projecto. Como já foi referido, este tipo de investimentos deve sobretudo procurar compatibilizar a qualidade do efluente com o uso previsto, visando garantir custos mínimos para os utentes e não aumentando os riscos para a saúde pública. Pois caso esta conjugação, entre estes factores, não se encontre definida a instalação de um tratamento complementar pode não ser técnica e economicamente viável.

## **6.2 POTENCIAL DE REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS TRATADAS PARA LAVAGEM DE VEÍCULOS NA REGIÃO DE CAMPO**

A utilização de águas residuais tratadas na lavagem de veículos pode agregar valores positivos na promoção de uma boa imagem para Portugal, aliando, também, o facto de reduzir a carga poluente dos recursos hídricos.

Neste subcapítulo, será analisada e avaliada a viabilidade técnica, económica e ambiental da utilização de águas residuais tratadas, provenientes da ETAR de Campo, num centro de lavagem de veículos. Este centro será gerido pela empresa Águas de Valongo, S.A..

Para se efectuar este estudo foi necessário caracterizar a oferta e a procura, tal como se concretizou para o estudo de caso da ETAR de Ermesinde. Neste contexto, consideram-se os consumos de água do centro de

lavagem de veículos - “Elefante Azul”, situado na cidade da Maia. Procedeu-se, igualmente, ao cruzamento entre a informação da caracterização da oferta e da procura, tal como indicado na Tabela 19.

Contudo, embora não se concretize uma proposta de tratamento adicional de forma a otimizar o processo existente na ETAR de Campo, apresentou-se uma análise técnico/económica dos dados relativos à implementação, funcionamento e manutenção de um centro de lavagem de veículos.

Estes dados foram obtidos através de duas entrevistas realizadas aos responsáveis das empresas “Elefante Azul” e “Auto-Jacto” (Maio de 2009), da consulta de informação disponível na Internet e por observação do funcionamento dos equipamentos.

### 6.2.1 OFERTA: CARACTERIZAÇÃO DA ETAR DE CAMPO

A ETAR de Campo entrou em funcionamento em 2000, mas analisando a Tabela 50, constata-se que os critérios de dimensionamento que estão subjacentes à sua concepção já se encontram sub-dimensionados, em especial se atendermos ao caudal previsto para os aglomerados que se localizam na sua área de intervenção.

Com efeito, considerando o caudal produzido pelo sistema constata-se que o caudal que serviu de base ao dimensionamento da ETAR para o ano horizonte (12.324 m<sup>3</sup>/dia), encontra-se ultrapassado relativamente ao valor médio obtido para o ano de 2007 (13.456 m<sup>3</sup>/dia). Assim, a ETAR de Campo necessitou de uma reformulação/ampliação, mantendo-se a zona de drenagem restringida às povoações abrangidas pelo sistema.

**Tabela 50** - Resultados da exploração sobre a água residual afluente da ETAR de Campo em 2007.

	<b>Caudal (m<sup>3</sup>/dia)</b>	<b>CBO<sub>5</sub> (kg/dia)</b>	<b>CQO (kg/dia)</b>	<b>SST (kg/dia)</b>	<b>NT (kg/dia)</b>	<b>PT (kg/dia)</b>
<b>Capacidade de tratamento (ano horizonte)</b>	12.324	3.079	9.238	5.132	750	197
<b>Janeiro</b>	15.695	5.780	3.579	5.970	872	425
<b>Fevereiro</b>	18.602	5.500	11.150	6.485	886	528
<b>Março</b>	18.405	5.846	9.820	5.473	176	163
<b>Abril</b>	14.079	7.165	11.858	6.736	797	555
<b>Maio</b>	12.689	10.073	15.415	10.713	770	344
<b>Junho</b>	14.805	10.347	14.921	9.734	655	389
<b>Julho</b>	13.084	7.596	21.435	11.403	737	549
<b>Agosto</b>	11.667	4.838	18.508	10.849	656	449
<b>Setembro</b>	10.134	2.774	12.947	8.278	500	305
<b>Outubro</b>	10.652	8.083	16.446	7.077	467	278
<b>Novembro</b>	10.999	6.928	14.941	6.051	373	398
<b>Dezembro</b>	10.662	7.197	2.431	11.661	626	404
<b>Média</b>	13.456	6.844	12.788	8.369	626	399

Esta ampliação está prevista para o ano 2016, associada a uma reformulação do processo de tratamento existente que permita, aumentar a capacidade de tratamento para servir um caudal médio diário afluente de cerca de 29 000 m<sup>3</sup>/dia, valores que se afiguram compatíveis com a salvaguarda de adequadas condições

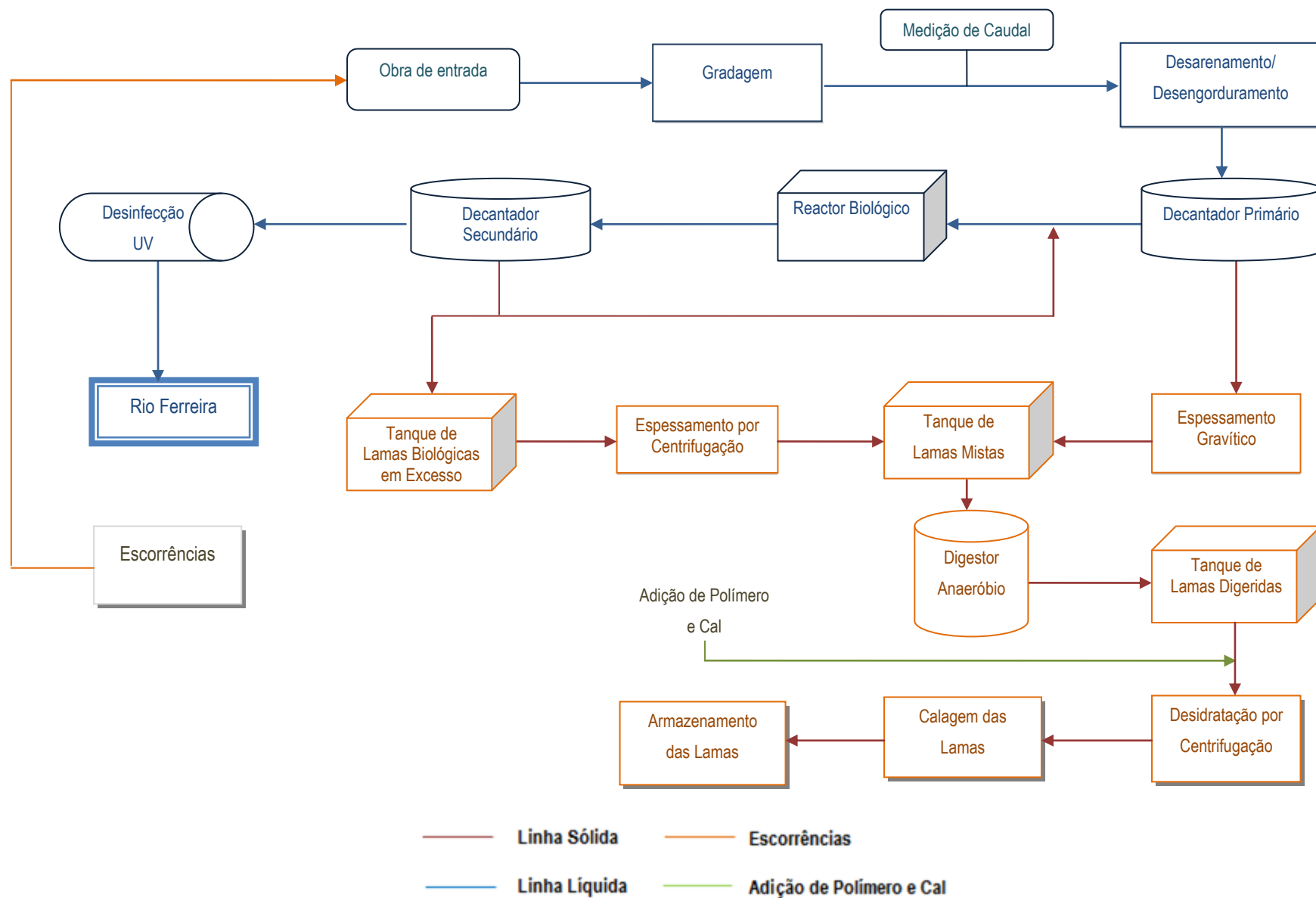
operacionais até ao ano de 2025, e com o objectivo de assegurar os mais exigentes objectivos de tratamento agora pretendidos.

A implementação das medidas anteriormente referidas passa por uma revisão do sistema de tratamento (fase líquida e fase sólida), tendo em vista a sua adaptação às novas condições de funcionamento.

As alterações que serão implementadas consideram, igualmente, a melhoria do processo de tratamento com vista à reutilização do efluente tratado, contemplando a etapa de tratamento adicional (desinfecção por UV) com vista à redução dos coliformes fecais e à protecção da saúde pública. Deste modo, verifica-se que a empresa Águas de Valongo, S.A., encontra-se receptiva a promover um melhor uso da água residual, do que efectuar a sua descarga directa no rio Ferreira.

Neste sentido, considera-se oportuno que uma parcela de água tratada seja reutilizada para usos internos compatíveis (água de serviço), enquanto que outra percentagem seja utilizada no exterior da ETAR, através da sua aplicação num centro de lavagem de veículos. Esta última proposta será sujeita a análise no decorrer do presente capítulo.

A Figura 36 apresenta a sequência dos processos de tratamento que serão implementados na ETAR de Campo, em 2016. No Anexo F é efectuada uma descrição de cada uma das linhas (líquida, sólida e gasosa), tendo por base os documentos relativos à ETAR de Campo fornecidos pela Águas de Valongo, S.A..



**Figura 36** - Fluxograma do esquema de tratamento que será implementado na ETAR de Campo.

### 6.2.1.1 Localização da ETAR e Requisitos do Efluente Final

Actualmente, a *ETAR de Campo* (vidé Figura 37) serve as populações de *Valongo*, *Campo* e *Sobrado* pertencentes ao município de *Valongo* e, ainda, as populações das freguesias da *Gandra*, *Rebordosa*, *Lordelo*, *Duas Igrejas* e *Vilela* do município de *Paredes*, constituindo, assim, a principal unidade de tratamento de águas residuais na bacia do rio *Ferreira*.



**Figura 37** - Localização da ETAR de Campo.

Referir que a qualidade das águas residuais descarregadas no rio Ferreira estão sujeitas aos VMA estabelecidos no Decreto-Lei n.º 152/97.

Na Tabela 51 são apresentados os resultados das análises efectuadas ao efluente da ETAR de Campo, durante o ano de 2008, bem como a indicação dos VMA no que refere à descarga das águas residuais nos meios hídricos e, o valor limite estabelecido pela EPA como orientação para a utilização de águas residuais tratadas na lavagem de veículos. De referir, que esta organização só estabelece valor limite para o parâmetro da  $CBO_5$ , contudo, na opinião do autor deveriam ser considerados outros parâmetros indicadores de qualidade.

**Tabela 51** - Resultados das análises do efluente final nos quatro trimestres de 2008.

Parâmetro		Afluente Bruto (Entrada)			Efluente Tratado (Saída)				
		CBO <sub>5</sub> (mg/l)	CQO (mg/l)	SST (mg/l)	CBO <sub>5</sub> (mg/l)	CQO (mg/l)	SST (mg/l)	PT (mg/l)	NT (mg/l)
Licença de descarga (Decreto-lei nº 152/97)		-	-	-	25	125	35	-	-
Licença de uso (de acordo com a EPA)		-	-	-	10	-	-	-	-
1º Trimestre	08-01-2008	500	1.100	350	14	20	17		
	30-01-2008	640	1.350	820	10	22	21		
	05-02-2008	900	1.500	2.800	6	14	7		
	19-02-2008	690	1.600	980	12	37	12		
	05-03-2008	1.400	5.100	320	29	98	18		
	18-03-2008	1.400	3.500	800	20	45	<5		
2º Trimestre	02-04-2008	360	1.600	640	<8	77	8		
	16-04-2008	250	790	630	<8	40	6		
	29-04-2008	390	1.900	510	<8	32	8		
	13-05-2008	470	1.500	860	<8	32	15		
	28-05-2008	640	2.300	1.400	<8	<30	7		
	10-06-2008	690	2.900	2.000	<8	57	<10		
	26-06-2006	760	3.800	1.800	14	50	14		
3º Trimestre	09-07-2008	400	650	340	<8	40	8	1,7	41,6
	24-07-2008	850	3.800	1.900	<8	52	<5		
	06-08-2008	1.000	2.700	1.400	8,6	60	13	12,1	18,4
	21-08-2008	370	940	910	14	65	28		
	03-09-2008	240	890	400	<8	47	<10	0,79	41
	16-09-2008	160	500	70	<8	48	<10		
4º Trimestre	02-10-2008	740	2.900	1200	28	120	20	8,9	46
	14-10-2008	1.400	4.500	1.000	<8	60	12		
	12-11-2008	560	1.200	1.600	17	90	19	4,1	30
	28-11-2008	320	510	310	12	70	<25		
	11-12-2008	580	1.100	760	12	65	<25	1,5	14
	22-12-2008	200	460	130	<10	<30	<25		

Com o tratamento actual, no ano de 2008, o parâmetro da CBO<sub>5</sub> registou valores aceitáveis para a utilização do efluente na lavagem de veículos. No entanto, com o melhoramento do tratamento na ETAR espera-se que o efluente apresente valores inferiores, no que diz respeito, aos parâmetros da CBO<sub>5</sub>, assim como da CQO e SST.

### 6.2.1.2 Enquadramento Legal

Em Portugal, já se iniciaram processos de gestão para estabelecer bases legais e institucionais sobre a reutilização de águas residuais, uma vez que, nos dias de hoje, não é admitido que a implementação de uma qualquer política de gestão integrada de recursos hídricos não incorpore esta opção.

Igualmente, para a utilização de águas residuais tratadas na lavagem de veículos, verifica-se um défice no que se refere às normas regulamentares que enquadrem esta perspectiva a nível nacional. Neste domínio, poder-se-

á destacar os EUA, como país apologista da implementação de projectos desta índole e, para o qual estão definidas linhas de orientação institucionais (vidé Tabela 52).

**Tabela 52** – Valores limite para o efluente utilizado na lavagem de veículos, de acordo com as orientações da EPA. (USEPA, 2004)

Coliformes fecais (NMP/100 mL)	Turvação (NTU)	CBO (mg/L)	pH
Não detectável	< 2	< 10	6 - 9

### 6.2.1.3 Identificação das Limitações Existentes à Reutilização de Água Residual

Actualmente, na ETAR de Campo, o tratamento realizado às águas residuais termina com o processo de decantação secundária, garantindo pouca qualidade do efluente à saída no que diz respeito ao tipo de uso em causa. Como em 2016, será efectuado uma ampliação da ETAR de Campo, melhorando a fase de tratamento biológico e adicionando uma etapa de tratamento adicional, constituída pelo processo de micro-tamização e desinfecção por UV, espera-se que a qualidade do efluente tratado para aplicação na lavagem de veículos, seja significativamente melhor e que se encontre dentro dos limites indicados na Tabela 52, de forma a garantir o bem-estar da saúde pública.

### 6.2.1.4 Proposta de Intervenção para Optimização do Processo de Tratamento

Não será efectuada qualquer proposta de intervenção no sentido de melhorar os processos de tratamento existentes na ETAR de Campo, pois como já foi referido a ETAR será ampliada/reformulada, com vista a um aumento de eficácia no processo em geral, assim como um dimensionamento de um tratamento adicional.

## 6.2.2 PROCURA: SISTEMA DE LAVAGEM DE VEÍCULOS

### 6.2.2.1 Estimativa dos Consumos de Água

Dando sequência aos objectivos propostos para o presente trabalho, faz-se de seguida uma estimativa dos consumos de água em sistemas de lavagem de veículos, com base nos dados cedidos pela empresa Elefante Azul, localizada na cidade da Maia.

Tais dados encontram-se representados na Tabela 53, e correspondem ao número mínimo e máximo de veículos que frequentou este centro de lavagem no mês de menor afluência (Janeiro) e mês de maior afluência (Julho), respectivamente.

**Tabela 53** – Número mínimo e máximo de veículos que frequentou este centro na lavagem no mês de menor e maior afluência (2008).

	Mês de menor afluência (Janeiro)	Mês de maior afluência (Julho)
Unidades	Veículos/mês	
Segunda	73	565
Terça	122	635
Quarta	137	576
Quinta	196	652
Sexta	278	688
Sábado	417	984
Domingo	356	828
Total	1.579	4.928

Uma vez que não foi possível obter informação relativa ao número de veículos para todos os meses do ano, considerou-se plausível assumir que a informação relativa ao mês de menor consumo corresponde aos meses de Outubro a Março e, por analogia, a informação relativa ao mês de maior consumo corresponde aos meses de Abril a Setembro. Todos estes resultados encontram-se no Anexo F – Tabela 85.

Referir que o centro de lavagem de veículos Elefante Azul encontra-se aberto 24 horas/dia e o consumo de água por lavagem varia entre 60, 120 e 180 L (0,06, 0,12 e 0,18 m³). Esta variação de volume de água deve-se à existência de três programas que são escolhidos pelo utilizador, os quais se encontram descritos na Tabela 54.

**Tabela 54** – Descrição dos três programas existentes na empresa Elefante azul.

1. Lavagem com sabão	2. Passagem por água da rede de abastecimento público	3. Passagem com água desmineralizada
Lavar o veículo com a lança a 10 cm do carro. Uma borracha existente na ponta da lança protege a carroceira. O detergente, a pressão e a temperatura da água farão o resto. Este programa gasta 60 L.	Quando o carro já não tiver qualquer rasto de sujidade, mantenha a lança a 30 cm, e com amplos movimentos de cima a baixo, retire todo o sabão. Este programa também utiliza 60 L.	Logo que tenha o carro bem passado por água residual, utilizar água desmineralizada para eliminar a água da fase anterior. Passar esta água mais rapidamente que a anterior, já que esta só deve eliminar os restos de calcário e minerais existentes na água da 2ª fase. Finalmente este programa gasta 60L.

Como se pode observar na Tabela 54, existem dois tipos de água: a água da rede de abastecimento público, utilizada no programa 1 e 2, cuja concentração de sólidos dissolvidos totais deverá ser inferior a 1500 mg/L de acordo com o Decreto-Lei nº 236/98; e a água desmineralizada, utilizada no programa 3, cuja concentração de sólidos dissolvidos totais é praticamente nula. Esta água é utilizada no sentido de minimizar o aparecimento de manchas nas superfícies lavadas.

Na Tabela 55, estão definidos três cenários correspondentes aos diferentes consumos de água possíveis por lavagem.



**Tabela 55** – Definição dos cenários consoante o volume de água consumido.

Cenário	Total (m³/veículo)
1	0,06
2	0,12
3	0,18

Na Tabela 56, estão representados o número total mínimo e máximo de veículos que frequentou o centro de lavagem no mês de menor e maior consumo e a respectiva quantidade de água consumida para os três cenários considerados.

**Tabela 56** – Consumo de água para o mês de menor (Janeiro) e maior consumo (Julho) para os 3 cenários em estudo (2008)

	Nº de veículos	1º Cenário	2º Cenário	3º Cenário	Nº de veículos	1º Cenário	2º Cenário	3º Cenário
Unidades	/mês	m³/mês	m³/mês	m³/mês	/mês	m³/mês	m³/mês	m³/mês
<b>Segunda</b>	73	4,4	8,8	13,1	565	33,9	67,8	101,7
<b>Terça</b>	122	7,3	14,6	22,0	635	38,1	76,2	114,3
<b>Quarta</b>	137	8,2	16,4	24,7	576	34,6	69,1	103,7
<b>Quinta</b>	196	11,8	23,5	35,3	652	39,1	78,2	117,4
<b>Sexta</b>	278	16,7	33,4	50,0	688	41,3	82,6	123,8
<b>Sábado</b>	417	25,0	50,0	75,1	984	59,0	118,1	177,1
<b>Domingo</b>	356	21,4	42,7	64,1	828	49,7	99,4	149,0
<b>Total</b>	1.579	94,7	189,5	284,2	4.928	295,7	591,4	887,0

De salientar que, existe uma maior afluência no fim de tarde de sexta e prolonga-se por todo o fim-de-semana, daí o consumo de água ser substancialmente maior nestes casos. Este centro, também, dispõe de uma capacidade para receber elevado número de veículos, pois apresenta 5 pistas de sistema de lavagem, conseguindo, assim, distribuir os veículos com alguma facilidade e rapidez.

Atendendo que a população possa aderir cada vez mais a este tipo de projectos, neste estudo considerou-se uma taxa de aumento de 1,25% de veículos/ano e um tempo de vida do projecto de 10 anos.

A partir da Expressão 9 obteve-se o acréscimo anual de veículos, no que diz respeito a todos os sábados do mês de maior consumo. De seguida, foram calculados os consumos médios diários anuais (para o dia de maior consumo) ao longo do tempo de vida do projecto, para os três cenários formulados (vidé Tabela 57).

**Tabela 57** – Estimativa dos consumos médios diários de água para o dia de maior consumo, ao longo do tempo de vida do projecto para os três cenários.

Ano	Todos os sábados referentes ao mês de maior afluência (Nº veículos/mês)	Dia de maior afluência - sábado (Nº veículos/dia)	Consumo médio diário anual (Sábado)		
			1º cenário (m³/dia)	2º cenário (m³/dia)	3º cenário (m³/dia)
0	984	246	14,8	29,5	44,3
1	996	249	14,9	29,9	44,8
2	1021	255	15,3	30,6	46,0
3	1060	265	15,9	31,8	47,7
4	1114	279	16,7	33,4	50,1
5	1186	296	17,8	35,6	53,3
6	1277	319	19,2	38,3	57,5
7	1393	348	20,9	41,8	62,7
8	1539	385	23,1	46,2	69,3
9	1721	430	25,8	51,6	77,4
10	1949	487	29,2	58,5	87,7

Na Tabela 86 – Anexo F, estão representados todos os resultados da estimativa efectuada relativamente aos consumos de água, para os 3 cenários, durante a vida útil do projecto.

### 6.2.3 CRUZAMENTO ENTRE A PROCURA E A OFERTA

A ETAR de Campo, no ano de 2007, apresentava um caudal médio de 13.456 m³/dia, valor bastante superior ao necessário no centro de lavagem de veículos - Elefante Azul para o dia de maior consumo (87,7 m³/dia). Este valor, como seria de esperar, varia de local para local, ano para ano, mas no entanto numa análise mais teórica, pode-se afirmar com convicção que um centro de lavagem de veículos nunca consumirá cerca de 13.456 m³/dia. Logo, não existe nenhuma limitação da disponibilidade de água residual tratada por parte da ETAR de Campo.

#### 6.2.3.1 Armazenamento da Água Residual

No que diz respeito ao armazenamento, a ETAR de Campo com o projecto de reformulação irá dispor de um reservatório com uma capacidade de 930 m³. Pode-se referir, o facto das disponibilidades de água residual tratada serem suficientes para perfazer o caudal distribuído de 87,7 m³/dia (caudal máximo diário, considerando o cenário 3 – vide Tabela 57).

Um bom desempenho dos sistemas de armazenamento é crucial para compensar a flutuação dos consumos ao longo do dia, assim como de dia para dia, e ainda permitir o adequado funcionamento das redes de distribuição e a regularização das bombagens, bem como para o equilíbrio de cargas piezométricas. Devido ao baixo caudal distribuído, justifica-se, por isso, a implementação de um reservatório pré-fabricado com 90 m³, na proximidade do centro de lavagem de veículos.

### 6.2.3.2 Soluções de Tratamento Propostas

Neste sentido, relativamente à pré e pós utilização da água residual no centro de lavagem de veículos, foi apenas proposta uma solução de tratamento. Esta solução é a mais usada em Portugal, incluindo nos dois centros que foram visitados.

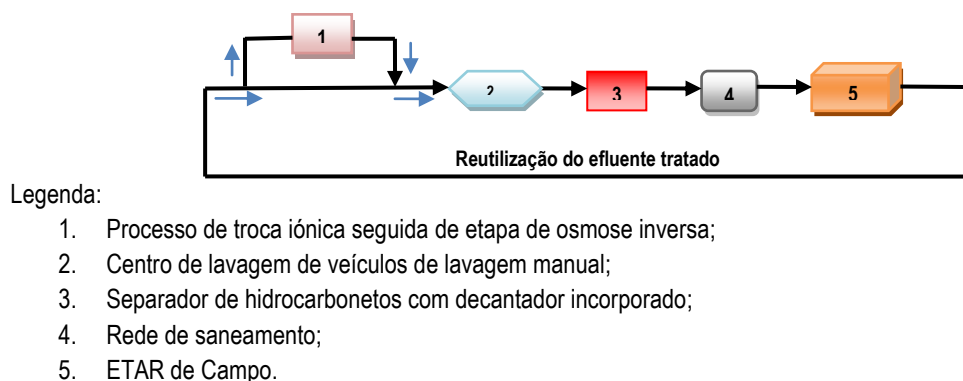
O tipo de sistema proposto corresponde ao sistema por lavagem manual, uma vez que apresenta vantagens económicas, quando comparado com os sistemas de lavagem automático - Pórtico e de Túnel. Acrescenta-se, ainda, o facto de ser de fácil implementação e exploração, apresentando um baixo consumo de água por lavagem.

A solução que se propõe é caracterizada por submeter o efluente final (que sai da ETAR) a um tratamento complementar composto por um processo de troca iónica, seguido de uma etapa de separação por membranas - osmose inversa. A colocação de um processo de troca iónica, a montante da etapa de osmose inversa, é essencial para um bom funcionamento do processo em geral, pois caso este não fosse implementado, o filtro da osmose inversa seria rapidamente colmatado, podendo inclusive parar o sistema causando grandes transtornos para o centro de lavagem de veículos. Esta opção será utilizada, apenas, quando o programa 3 for solicitado, de modo a obter um efluente com uma concentração de sólidos dissolvidos quase nulos. É de notar que a utilização do programa 1 e 2 não necessita de um tratamento complementar.

Após a utilização do efluente na lavagem de veículos, propõe-se a passagem por um decantador com o intuito de retirar as areias e as partículas mais grossas do efluente. Estas partículas serão devidamente armazenadas num reservatório e dando-lhes um destino final adequado.

De seguida, o efluente deverá ser encaminhado para um separador de hidrocarbonetos, de forma a retirar todos os óleos e gorduras. Estes, à semelhança do que sucede com as areias, serão armazenados num reservatório e recolhidos esporadicamente por uma empresa responsável, com vista à sua reciclagem.

A água residual depois de receber este pré-tratamento, será descarregada na rede de saneamento dirigindo-se, novamente, para a ETAR de Campo de forma a ser devidamente tratada. Na Figura 38, encontra-se representado o esquema de tratamento proposto.



**Figura 38** - Esquema representativo da solução proposta.

### 6.2.3.3 Proposta de Localização e Transporte das Águas Residuais

Os critérios considerados para propor o local onde poderá ser implementado o centro de lavagem de veículos consistiram na sua proximidade à ETAR de Campo, de modo a minimizar o custo de transporte; e na escolha de um local amplo e com grande afluência rodoviária.

A dimensão do centro de lavagem de veículos Elefante Azul, corresponde aproximadamente a 1900 m<sup>2</sup>, conforme pode-se verificar através da Figura 39.



**Figura 39** - Dimensões da área ocupada por um centro de lavagem de veículos, da empresa Elefante Azul.

Neste sentido, o local proposto sinalizado a preto na Figura 40, situa-se na estrada nacional N15, que liga Porto a Amarante, na qual a afluência de veículos é normalmente grande, situando-se a 700 m da ETAR de Campo.



**Figura 40** – Distância entre a ETAR de Campo e o local proposto para localização do centro de lavagem de veículos.

Relativamente ao transporte das águas residuais tratadas, a metodologia usada foi semelhante à do caso de estudo anterior (vidé subcapítulo 6.1.3.3).

No que refere à distribuição da água residual entre a ETAR de Campo e o centro de lavagem de veículos, propõem-se um sistema de adução subterrâneo, uma vez que o volume solicitado é variável, devido à flutuação de veículos durante os dias da semana e para as diferentes estações do ano. A opção de distribuir as águas residuais através de camião cisterna não foi considerada viável, visto a distância entre a ETAR e o local proposto ser reduzida e, o custo de aquisição de um camião cisterna ser bastante elevado.

Na Tabela 58, encontram-se os critérios adoptados para a obtenção do diâmetro da conduta e da altura manométrica total.

**Tabela 58** - Critérios adoptados para o dimensionamento da bomba pretendida.

<b>Natureza da conduta</b>	PVC
<b>U (m/s)</b>	1,0
<b>g (m/s<sup>2</sup>)</b>	9,8
<b><math>\vartheta</math> (m<sup>2</sup>/s) a 20°C</b>	1x10 <sup>-6</sup>
<b>Tempo de adução do caudal diário entre a ETAR e o reservatório no centro de lavagem (h/dia)</b>	12
<b>k* (mm)</b>	0,005

\*Valor médio da rugosidade absoluta equivalente para escoamentos turbulentos uniformes (MSPC, 2008).

Conhecendo o valor do caudal máximo diário (87,7 m<sup>3</sup>/dia) foi possível determinar o valor do diâmetro para a conduta, assumindo uma velocidade de 1 m/s, tal como se indica na Tabela 59.

**Tabela 59** - Valor do diâmetro da conduta obtido.

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor obtido</b>
<b>Q (m<sup>3</sup>/dia)</b>	87,7
<b>Q (m<sup>3</sup>/s)</b>	0,002
<b>A (m<sup>2</sup>)</b>	0,005
<b>D (mm)</b>	50,9
<b>D<sub>adoptado</sub> (mm)</b>	75

No que diz respeito ao cálculo da perda de carga contínua,  $\Delta H_p$ , foi necessário calcular parâmetros intermédios, tal como se apresenta na Tabela 60. Estes valores foram obtidos através das Expressões 3, 4, 5 e 6 (vide subcapítulo 5.2.2).

**Tabela 60** - Valor obtido para a perda de carga contínua.

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor obtido</b>
<b>D (mm)</b>	75
<b>k (mm)</b>	0,005
<b><math>\vartheta</math> (m<sup>2</sup>/s) a 20°C</b>	1x10 <sup>-6</sup>
<b>Re</b>	34464
<b><math>\lambda</math></b>	0,0229
<b>U (m/s)</b>	1,0
<b>g (m/s<sup>2</sup>)</b>	9,8
<b>J (m/m)</b>	0,0033
<b>L (m)</b>	700
<b><math>\Delta H_p</math> (m.c.a.)</b>	2,30

Em relação à perda de carga localizada,  $\Delta H_L$ , neste estudo, foi considerada desprezável pois o valor da velocidade adoptado é baixo, o que torna o valor da perda de carga localizada substancialmente mais reduzida quando comparada com o valor da perda de carga contínua,  $\Delta H_p$  (vidé Tabela 61).

**Tabela 61** - Valor adoptado para a perda de carga localizada.

Parâmetro	Valor obtido
$\Delta H_L$ (m.c.a.)	0,0

Finalmente, é possível obter o valor da altura manométrica total entre o reservatório da ETAR de Campo e o reservatório do centro de lavagem, foi determinado pelas Expressões 1 e 2 e, encontra-se representada na Tabela 62.

**Tabela 62** - Valor obtido para a altura manométrica total.

Parâmetro	Valor obtido
Cota topográfica da ETAR de Ermesinde (m)	90
Cota topográfica do reservatório no Parque Urbano (m)	110
$\Delta H_p$ (m.c.a.)	2,3
$\Delta H_L$ (m.c.a.)	0,0
$\Delta H_T$ (m.c.a.)	22,3

Após a obtenção destes resultados, foi possível seleccionar uma bomba com características apropriadas às necessidades pretendidas. A bomba escolhida foi da marca Caprari Bombas, S.A., cujas características e design estão representadas na Tabela 63 e na Figura 41, respectivamente.

**Tabela 63** - Características da bomba escolhida.

Características da bomba	Valor obtido
Modelo	Electrobomba Multicelular Vertical
Tipo	Trifásico
Diâmetro de entrada (mm)	G 1 ½" x 1 ¼"
Diâmetro de saída (mm)	
Potência (kW)	1,5
Caudal (l/s)	2,0
Pressão (m.c.a.)	30,5
Frequência (Hz)	50



**Figura 41** - Exemplo de uma bomba Electrobomba Multicelular Vertical.

#### 6.2.3.4 Experiência Piloto

Neste tipo de sistemas, a par da excelente qualidade que o efluente deve apresentar, está a selecção de um bom produto de limpeza para não prejudicar a qualidade da pintura dos veículos e assegurar, igualmente, a protecção do meio ambiente.

Estas preocupações estão intrínsecas a ambas as empresas visitadas. A empresa Elefante Azul, desenvolveu um sabão, cuja formula é patenteada, enquanto que a empresa Auto-Jacto utiliza produtos de limpeza da marca “Flowey”, definidos como produtos de excelente qualidade.

Posto isto, e com o intuito de observar o comportamento do aspecto visual da pintura de um veículo face à sua lavagem com águas residuais tratadas, realizou-se uma pequena experiência que pretendeu, de forma simples e prática, identificar possíveis danos que esta aplicação poderá apresentar para o veículo e testar a reacção entre o efluente tratado e o detergente.

Para tal, utilizou-se uma placa, com uma pintura semelhante à de um automóvel, e procedeu-se à sua lavagem com efluente proveniente da ETAR do Freixo. Tal como referido anteriormente, a escolha deste efluente deveu-se ao facto de apresentar características semelhantes às esperadas pelo efluente que será produzido após a ampliação da ETAR de Campo. O restante material necessário à realização desta experiência encontra-se representado na Figura 42 e corresponde, ao detergente biodegradável da marca “Flowey” e um balde.



**Figura 42** – Material utilizado para lavagem da placa.

Inicialmente, procedeu-se à diluição de 30 mL de detergente com o efluente tratado, seguindo-se esquematicamente as representações da Figura 43.





**Figura 43** - Fotografias tiradas no decorrer da experiência realizada.

Depois de se realizar a lavagem da placa, procedeu-se a uma análise meramente visual, podendo-se, desta forma, afirmar que os resultados obtidos foram satisfatórios, uma vez que a placa manteve as suas características. Contudo, apesar do efluente utilizado apresentar alguma qualidade, é de salientar a necessidade de alguns ajustes no que refere à cor e cheiro. Estes parâmetros são considerados essenciais ao nível da aceitação do público para a sua utilização.

Nesta experiência, pretendeu-se, ainda, comparar o consumo de detergente na utilização de efluente tratado e, nas condições habituais que actualmente é aplicado, ou seja, com água potável. Na Figura 44, observa-se que o efluente tratado apresenta um aspecto mais turvo, do que o apresentado na água potável, fruto da elevada concentração de SST da água residual, quando comparado com os níveis da água potável.



**Figura 44** – Comparação visual entre o efluente tratado e a água potável, após a junção de detergente.



Por fim, na Figura 45, é possível visualizar a placa quase seca e completamente seca, o que evidencia a não ocorrência de alterações nas características da pintura, nomeadamente, a formação de manchas.



**Figura 45** – Fotografias da placa quase seca (à esquerda) e completamente seca (à direita).

#### 6.2.3.5 Sinalização e Medidas de Segurança

Outros factores a considerar no desenvolvimento de projectos desta natureza são as medidas de segurança e de sinalização a implementar. A principal medida consiste na sinalização adequada que a lavagem de veículos é realizada com recurso a água residual. Igualmente, deverão ser expostos os resultados da qualidade da água residual para que o público tenha acesso a esta informação, de forma oportuna e atempada. Todos os comandos da instalação deverão estar bem protegidos de modo a que apenas o operador tenha acesso.

Os operadores deverão ser formados sobre as regras dos processos de manutenção e limpeza geral, nomeadamente, a limpeza dos depósitos de forma a evitar qualquer contacto entre as águas superficiais e as águas subterrâneas, com risco de as poluir. O equipamento de protecção individual deve ser usado aquando da manipulação de produtos químicos. Por fim, deverá existir um documento que contenha os procedimentos para responder a possíveis situações de emergência.

O fundo da pista de lavagem deve ser todo gradeado de modo a ser possível drenar para os depósitos, toda água utilizada, onde após esta fase, a água irá sofrer as etapas de pré-tratamento (decantador e separador de hidrocarbonetos), antes de serem encaminhadas para a rede de saneamento. Além disso, é recomendado que os centros de lavagem de veículos sejam limitados por protecções, de forma a impedir que os aerossóis se dispersem (FDEP, 2005).

#### 6.2.3.6 Monitorização

A empresa Águas de Valongo, S.A., - ETAR de Campo, terá de garantir que a qualidade do efluente deverá estar em perfeitas condições para ser utilizada, quer nos parâmetros físicos (pH, CBO<sub>5</sub>, turvação, entre outros), quer nos parâmetros biológicos (coliformes fecais, etc.), de forma a não causar nenhum dano à saúde pública, ao automóvel e, também, ao meio ambiente.

Segundo as orientações definidas pela EPA, a instituição responsável deverá analisar periodicamente os parâmetros pH, CBO<sub>5</sub>, turvação e coliformes fecais, tal como indicado na Tabela 64.

**Tabela 64** – Parâmetros a analisar sobre a água residual que sai da ETAR e respectivas periodicidades (USEPA, 2004)

Monitorização	Parâmetros a analisar	Periodicidade
Água de Valongo, S.A. – ETAR de Campo é responsável pela qualidade das águas residuais que estão armazenadas no reservatório da ETAR	pH	Semanalmente
	CBO <sub>5</sub>	Semanalmente
	Turvação	Contínuo
	Coliformes Fecais	Diariamente

Numa fase futura, dever-se-á incluir análises a alguns metais, designadamente o alumínio e boro, à salinidade e aos sólidos dissolvidos totais, de forma a gerir a qualidade do efluente com o devido cuidado e precaução (Water, 2009).

#### 6.2.3.7 Conservação e Manutenção

No que diz respeito à manutenção dos centros de lavagem de veículos, dever-se-á incluir um manual completo dos seus constituintes, bem como a descrição das tarefas de manutenção a realizar. A manutenção neste tipo de centros resume-se, sobretudo, à limpeza do separador de hidrocarbonetos e de todos os depósitos existentes, uma vez que os filtros do processo da osmose inversa fazem a sua auto-limpeza. No entanto, estes devem ser analisados, periodicamente, de modo a verificar o seu comportamento, mantendo a mesma eficiência de remoção dos de SDT.

Na Tabela 65 encontram-se sumariamente apresentados alguns procedimentos, e respectiva periodicidade, necessários à exploração de um centro de lavagem de veículos.

**Tabela 65** - Monitorização e respectiva periodicidade (Water, 2009).

Periodicidade	Procedimentos
Diariamente	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Retirar os sólidos que ficam armazenados no depósito do decantador;</li> <li>– Retirar quaisquer detritos flutuantes da superfície dos reservatórios;</li> <li>– Verificar a pressão dos filtros de osmose inversa, bombas de injeção de produtos químicos e os níveis de água;</li> <li>– Anotar a quantidade de produtos químicos utilizados no período de 24 horas.</li> </ul>
Semanalmente	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Drenar os reservatórios para remover os sólidos acumulados no fundo;</li> <li>– Retirar quaisquer detritos flutuantes da superfície dos reservatórios.</li> </ul>
Mensalmente	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Verificar o sistema de separação dos hidrocarbonetos.</li> </ul>
Duas vezes por ano ou sempre que necessário	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Limpar ou substituir os filtros.</li> </ul>

Todas estas acções devem ser efectuadas de modo a garantir um bom funcionamento do equipamento, reduzindo os custos de exploração, manter o centro em actividade permanente e oferecer ao consumidor a garantia de um bom serviço e uma elevada eficiência de todo o processo (Water, 2009).

#### 6.2.4 AVALIAÇÃO ECONÓMICA

Neste subcapítulo foi efectuada uma análise económica sob a temática em análise, mas contrariamente ao que se verificou no caso da reutilização de águas residuais na rega do Parque Urbano de Ermesinde, pretende-se com este estudo avaliar os requisitos financeiros necessários para obter um centro de lavagem de veículos, tendo em conta as características anteriormente definidas.

Para tal, procedeu-se à análise do custo de investimento e respectivos custos de exploração, para um projecto a 10 anos. A estimativa orçamental foi efectuada com base em informações gentilmente disponibilizadas pela empresa Elefante Azul.

Na Tabela 66, encontram-se resumidos os critérios necessários para esta análise.

**Tabela 66** - Resumo dos critérios adoptados na análise económica.

Item	Proposta
<b>Tratamento adicional</b>	Troca iónica → osmose inversa → separador de Hidrocarbonetos com decantador incorporado
<b>Construção de um reservatório fechado no centro de lavagem</b>	90 m <sup>3</sup>
<b>Caudal utilizado para o ano horizonte</b>	7,3 m <sup>3</sup> /h
<b>Ano horizonte do projecto</b>	10 anos

Relativamente, aos custos de investimento inicial, estes incluem os custos de construção civil relativos à instalação da tubagem, que transportará a água residual tratada, à construção do reservatório no centro de lavagem de veículos (vide Tabela 67).

**Tabela 67** – Custos de construção civil para a solução proposta (Memória descritiva do projecto de ampliação da ETAR de Campo).

Item	Custo Unitário (€/m)	Custo (€)
Interligação entre órgãos: abertura e tapamento do terreno para instalação de tubagem	31,46	22.022
Montagem da tubagem de PVC	13,29	9.303
Implementação do reservatório pré fabricado	-	4.500
Construção do centro de lavagem de veículos	-	87.500
<b>Custo Total de Construção Civil</b>	-	<b>123.325</b>

Os custos de aquisição de todo o equipamento proposto foram fornecidos pela empresa Elefante Azul, e correspondem a 255.000 €. Deste modo, os custos totais de investimento (custos de equipamento + custos de construção civil) totalizam os 378.325 €. É, de salientar que 67% dos custos totais correspondem aos custos de aquisição de equipamento.

#### 6.2.4.1 Estimativa dos Custos de Exploração

Os custos de exploração incluem a conservação e manutenção como encargos fixos. Estes foram considerados em função do investimento inicial de 3% em relação ao equipamento electromecânico e de 0,5% em relação à construção civil, respectivamente.

De mencionar que, apesar, dos consumos de energia eléctrica e de reagentes, não terem sido incluídos no balanço dos encargos variáveis, devido à falta de informação disponibilizada, considerou-se o custo de arrendamento do terreno igual a 15.000€/ano (este valor corresponde a uma área semelhante à pretendida). Acrescentou-se, ainda, o valor a pagar a dois funcionários responsáveis pela gestão do centro de lavagem. Admitiu-se uma presença laboral dos trabalhadores no centro de lavagem de 365 dias por ano, usufruindo de um salário base mensal de 600 €/funcionário. Estes custos de exploração variáveis foram actualizados a uma taxa de acréscimo de 1,5%/ano, através da Expressão 13.

Na Tabela 68, encontram-se resumidos, os custos anuais estimados para a exploração da solução proposta.

**Tabela 68 – Encargos de exploração.**

Item	Custos de exploração (€/ano)	
	Ano 1	Ano 10
<b>Custos variáveis</b>		
Arrendamento do terreno	15.225	17.408
2 Funcionários	14.616	16.711
<b>Custos fixos</b>		
Conservação e Manutenção	16.576	
<b>Custos Totais de Exploração</b>	<b>46.417</b>	<b>50.696</b>

#### 6.2.4.2 Estimativa dos Custos Totais Actualizados

A estimativa dos custos totais actualizados corresponde à soma dos custos do investimento inicial com os custos de exploração ao longo do período de 10 anos, tal como se pode observar na Tabela 69.

**Tabela 69 – Custos actualizados.**

Custos actualizados ao fim dos 10 anos	Custo (€)
Custos variáveis	319.379
Custos fixos	165.764
<b>Custos de exploração</b>	
Investimento inicial	382.641
<b>Custos Totais Actualizados</b>	<b>863.037</b>

Todos estes resultados, durante a vida útil do projecto, estão apresentados na Tabela 87 – Anexo F.

Contudo, a viabilidade financeira de um projecto traduz-se na capacidade de financiar os custos de investimento e custos de exploração através das receitas geradas. Neste sentido, considerou-se, igualmente, oportuno, abordar o conceito de “período de recuperação do investimento”<sup>4</sup>. Para tal, é necessário considerar os lucros praticados por lavagem de veículo (vidé Tabela 70) e estimar os lucros globais anuais da empresa Águas de Valongo, S.A. (vidé Tabela 71).

**Tabela 70** – Lucro por lavagem consoante os diferentes cenários.

Cenário	Consumo de água por veículo (m <sup>3</sup> /veículo)	Lucro por Lavagem de veículo (€/veículo)
1	0,06	1
2	0,12	2
3	0,18	3

**Tabela 71** – Resultados dos lucros globais obtidos, para o ano 1 e do ano 10, para a empresa Águas de Valongo, S.A., relativos aos três cenários.

	1º Cenário		2º Cenário		3º Cenário	
	Caudal (m <sup>3</sup> /ano)	Lucros (€/ano)	Caudal (m <sup>3</sup> /ano)	Lucros (€/ano)	Caudal (m <sup>3</sup> /ano)	Lucros (€/ano)
Ano 1	2.343	39.530	4.685	79.060	7.028	118.590
Ano 10	4.639	77.314	9.278	154.628	13.917	231.942

Em termos financeiros, um projecto considera-se viável logo que seja garantida a recuperação dos investimentos iniciais e a cobertura dos custos de exploração, pelo *cash-flow*<sup>5</sup> previsto das receitas geradas pelo serviço, durante o período de vida útil do projecto, tal como indicado na Expressão 14.

$$CF = SD_{N-1} + CEF_N + CEV_N - L_N \quad (14)$$

onde:

CF - Cash-Flow (€/ano)

SD<sub>N-1</sub> – Saldo devedor no ano anterior (€/ano)

CEF<sub>N</sub> – Custo de Exploração Fixo no ano corrente (€/ano)

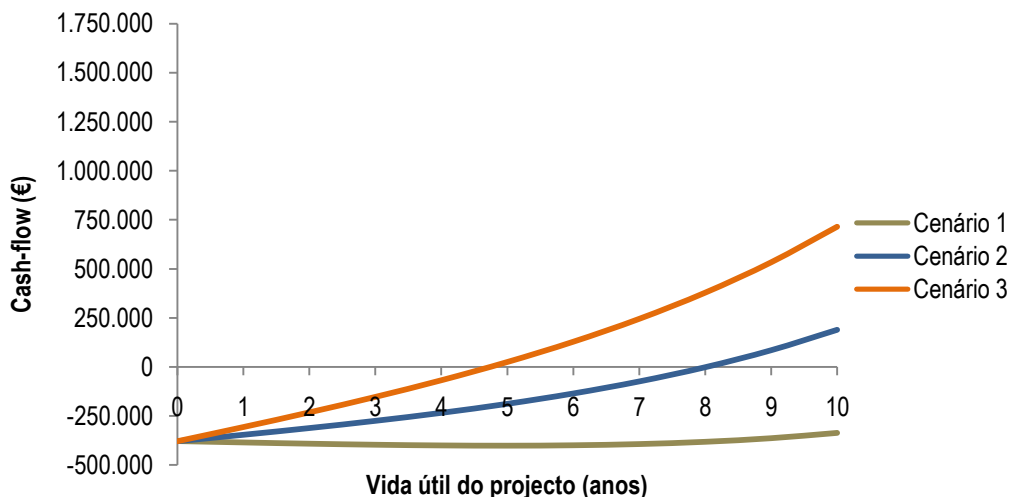
CEV<sub>N</sub> - Custo de Exploração Variável no ano corrente (€/ano)

L<sub>N</sub> – Lucros na Lavagem no ano corrente (€/ano)

A Figura 46 permite comparar de forma intuitiva o cash-flow gerado ao longo da vida útil do projecto, bem como observar o comportamento dos diferentes cenários face aos seus potenciais lucros. É de referir, ainda, que quando a recta do cash flow intersecta o eixo das abcissas, obtêm-se o período de recuperação do investimento para cada cenário.

<sup>4</sup> Período de Recuperação do Investimento - Número de anos necessários para os fluxos positivos igualarem o investimento.

<sup>5</sup> Cash-flow – representa o saldo entre as entradas e saídas de capital de um projecto durante um determinado período de tempo.



**Figura 46** – Comparação dos cash-flow, para os 3 cenários, durante a vida útil do projecto.

Como se pode observar na Figura 46, o cenário 3 é aquele que apresenta um maior lucro, ou seja, corresponde à alternativa com maior valor excedente de fundos gerados pelo projecto (valor acima do eixo das abcissas), uma vez remunerado e reembolsado o capital investido. Igualmente, é para este cenário que se verifica um período de retorno menor ( $\approx 5$  anos). No entanto, é de realçar o perigo de conclusões falaciosas, pois como foi referido anteriormente, para cada cenário todos os veículos utilizam o sistema consomem a mesma quantidade de água, o que na realidade não acontece. Ou seja, estes cálculos foram efectuados apenas para serem estabelecidos intervalos de valores, dentro dos quais a situação real estará definida. Por isso, atendendo à concretização do projecto, o cenário 1 (consumo mínimo) e o cenário 3 (consumo máximo) nunca serão atingidos, logo a escolha mais plausível e sensata passa pela opção do cenário 2, no qual se verifica um período de recuperação do investimento de, aproximadamente, 8 anos. É de referir, ainda, que todos os resultados obtidos para a realização da Figura 46 encontram-se no Anexo F nas Tabelas 88, 89 e 90.

#### 6.2.5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Através da realização da experiência piloto, pode-se referir que a lavagem de veículos com água tratada apresenta uma grande potencialidade. Os resultados obtidos não foram tão negativos como, inicialmente, se previam, pois a água não originou manchas na placa e não foi detectando um elevado consumo de detergente. Como já foi referido, a água desinfectada usada, era proveniente da ETAR do Freixo, mas apresentava um cheiro intenso e uma turvação elevada, assim, uma solução que poderia minimizar este factores é a adição de floculante, como exemplo de um tratamento complementar.

Referir, ainda, que para implementar um processo desta natureza, mais uma vez, deve-se considerar estudos mais complexos de ordem técnica, operacional e económica, e efectuar experiências em escala piloto de modo a averiguar a sua viabilidade. Seria, também, importante analisar em termos técnicos, a eficácia dos dois tipos de sistema de lavagem, com e sem recirculação.

Em termos de avaliação económica, uma das decisões sobre a implementação de um projecto, está directamente relacionada aos recursos envolvidos e ao lucro que se espera obter após a sua execução. Ou seja, conhecendo os custos praticados por lavagem de veículo, para os três cenários, e o volume de água consumido anualmente, facilmente se obteve os *cash-flows* anuais para o centro de lavagem de veículos, vidé Tabela 72.

**Tabela 72** – *Cash-flows* atingidos pelo centro de lavagem de veículos para os 3 cenários, para o ano 1 e 10.

Ano	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
	cash-flow (€/ano)		
Ano 1	-376.292	-336.762	-297.232
Ano Horizonte (Ano 10)	-208.456	317.524	843.505

Em termos ambientais, é fundamental desenvolver legislação específica onde se especifique os tipos de reutilização, as variáveis a serem observadas para cada tipo, qualidade da água antes e depois da utilização, mecanismos de controlo e monitorização, entre outros.

Os projectos de reutilização de águas residuais tratadas aplicados na lavagem de veículos constituem, ainda, práticas inovativas em muitas regiões, o que só por si, justifica alguma relutância na sua aceitação pública. Além disso, trata-se de um tipo de projecto susceptível de gerar alguma controvérsia na sociedade, pela origem e características das águas residuais tratadas. A aceitação pública constitui, assim, um factor essencial no sucesso deste tipo de projectos e só pode ser ganha mediante o estabelecimento de uma estratégia de comunicação que envolva os promotores do projecto e o público, incluindo nesta designação não apenas o público em geral, mas todos os grupos com interesse, como os potenciais utilizadores e as autoridades da administração central, regional e local.





## 7

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A reutilização das águas residuais, assume-se como uma solução que promove a gestão efectiva dos recursos hídricos, na medida em que contribui para a sua manutenção, satisfazendo necessidades presentes e futuras para usos mais nobres; e, igualmente, por reduzir o caudal de águas residuais descarregado nos meios receptores aquáticos, minimizando a quantidade de poluentes lançados.

Contudo, é de salientar que muitos dos projectos de reutilização de água actualmente em funcionamento não seriam aprovados se só fossem avaliados á luz de uma análise estritamente financeira. No entanto, estes projectos contem uma série de factores intrínsecos (ambientais e socioculturais) que tornam a sua análise mais complexa e menos centrada nos seus aspectos puramente económicos. Deste modo, só a integração destes factores permite o sucesso de um projecto desta natureza.

A protecção da saúde pública é, igualmente, um ponto a considerar neste tipo de projectos, o que levou à elaboração de regulamentação de extrema importância. Um deles é NP 4434-2005 que traça a reutilização de água para rega, cujo conteúdo consiste num conjunto de valores de concentração de constituintes admitidos na água a reutilizar, de requisitos relativos ao tratamento das águas residuais, à metodologia de reutilização das mesmas e até à monitorização do processo de reutilização. Não obstante da existência desta importante ferramenta, há aspectos que continuam por esclarecer, nomeadamente, no que respeita à segurança e técnicas de controlo da qualidade das águas residuais tratadas nos sistemas de distribuição e da gestão do armazenamento.

Deste modo, para que a reutilização da água se desenvolva em Portugal de forma sustentada terá que se basear não só no conhecimento científico e tecnológico do tratamento de águas residuais, dos impactes sanitários e ambientais decorrentes da utilização deste tipo de águas, mas também na adaptação do sistema institucional e normativo de gestão da água, de modo a proporcionar um enquadramento adequado a esta estratégia de gestão sustentável dos recursos hídricos, e ainda na aceitação do público à reutilização da água. Este factor é, igualmente, muito importante para o sucesso destes projectos, e só pode ser ganho mediante o estabelecimento de uma estratégia de comunicação que envolva os promotores do projecto e o público, incluindo nesta designação não apenas o público em geral, mas todos os grupos com interesse no projecto, como os utilizadores da água de reutilização, dos potenciais utilizadores, bem como as autoridades da administração central, regional e local.

Assim, este trabalho pretendeu contribuir com uma perspectiva integrada de carácter municipal no concelho de Valongo, envolvendo duas categorias de reutilização das águas residuais: a rega de espaços verdes na freguesia de Ermesinde e a utilização de águas residuais tratadas na lavagem de veículos.

Com os resultados obtidos, pode-se concluir que quer para a Alternativa I (desinfecção por UV) quer para a Alternativa II (desinfecção por ozono) o estudo relativo ao Parque Urbano de Ermesinde não apresenta vantagens em termos económicos para a empresa Águas de Valongo, S.A., pois os custos derivados da obra de construção civil apresentam um elevado valor monetário. No entanto, este estudo revelou que apesar do caudal necessário para rega do parque ser baixo, o custo da água residual tratada, para a CMV, poderia custar cerca de 75% menos do que o custo da água potável.

Relativamente, ao estudo de caso referente à lavagem de veículos, a implementação de um centro de lavagem de veículos, na região de Campo, implica um investimento inicial de cerca de 870.000€ e apresenta um período de recuperação do investimento de aproximadamente 8 anos, tornando-se, assim, numa fonte de rendimentos a curto prazo (considerando o cenário 2). Deste modo aprovando projectos desta natureza, a empresa Águas de Valongo, S.A., para além de estar a valorizar, gerir e conservar o ambiente, apresentará também uma boa imagem, para o concelho de Valongo, como sendo uma instituição ecologicamente correcta, com uma visão de futuro e um óptimo exemplo a seguir.

Em termos ambientais e de protecção da saúde pública, neste trabalho, apenas se referiu as linhas de orientação sobre o nível de qualidade da água exigido, sugerindo-se, para trabalhos futuros, estudos práticos, que permitam a monitorização de parâmetros-chave essenciais para o bom desempenho de um projecto desta natureza.

Por fim concluir, que a opinião pública é um factor muito importante que não pode ser de modo algum desvalorizado. Nas aplicações de águas residuais tratadas em zonas onde o acesso ao público não seja condicionado, é necessário um projecto de educação ambiental bem estruturado. No caso da população do concelho de Valongo foi notória, na amostra inquirida, uma aceitação muito elevada relativamente à aplicação de águas residuais tratadas na rega dos espaços verdes e lavagem de veículos.

## BIBLIOGRAFIA

- A.Brooks, M. (1999). *Breakpoint Chlorination as an alternate means of ammonia-nitrogen removal at a water reclamation plant*. Virginia.
- Alcamo, J., Henrichs, T., & Rosch, T. (2000). *World Water in 2025 - Global modeling and scenario analysis for the World Commission on Water for the 21st Century*. University of Kassel, Center for Environmental Systems Research.
- Almeida, M., Vieira, P., & Ribeiro, R. (2006). *Uso eficiente da água no sector Urbano - IRAR*. Lisboa.
- Al-Odwani, A., Ahmed, M., & Bou-Hamad, S. (2006). Carwash Water reclamation in Kuwait. *Desalination*.
- Alves, C. (2007). *Tratamento de Águas de Abastecimento*. Aveiro: Publindústria, edições técnicas.
- Aquarec. (2006). *Handbook on Feasibility Studies for Water Systems*.
- AQUAREC. (2006). *Integrsted Concepts for Reuse of Upgraded Wastewater*. Report on integrated water reuse concepts.
- Asano, T. (2001). *Water Reuse Expert*. Stockholm Water Prize.
- Bixio, D., De Koning, J., Savic, D., Wintgens, T., Melin, T., & Thoeve, C. (2005). Wastewater reuse in Europe. *Proc. Intl Conf. Integrated Concepts in Water Recycling*.
- Cabezut-Boo, O., & Sánchez-Aguilar, A. (1999). Towards an ontology of waste water treatmnet plants: the identification phase. *Environmental Modeling & Software*.
- Cities, L. o. (2006). *Water Recycling and reuse*.
- D. Eaton, A., S. Clescer, L., & Arnold, E. (1995). *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*. AWWA, APHA, WEF: 19 th Edition.
- Decreto-Lei n.º 152/97*. (19 de Junho de 1997). Obtido em Março de 2009, de Diário da República Electrónico nº139, Série I-A: <http://dre.pt/pdf1sdip/1997/06/139A00/29592967.pdf>
- Decreto-Lei n.º 236/98*. (1 de Agosto de 1998). Obtido em Março de 2009, de Diário da República Electrónico nº1276, Série I-A: <http://dre.pt/pdf1sdip/1998/08/176A00/36763722.pdf>

*Desarrollo Inteligente*. (24 de Setembro de 2008). Obtido em 30 de Abril de 2009, de [http://www.desarrollointeligente.org/desarrollo\\_inteligente/VisNot?id=d98a0cb781557e3b6bed3ea42d961](http://www.desarrollointeligente.org/desarrollo_inteligente/VisNot?id=d98a0cb781557e3b6bed3ea42d961)

*Directiva 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, que estabelece um quadro de acção comunitária no domínio da política da água*. (23 de Outubro de 2000). Obtido em Março de 2009, de Jornal Oficial da União Europeia nº L327:

<http://eur-lex.europa.eu/Notice.do?val=237000:cs&lang=pt&list=485780:cs,467301:cs,343600:cs,237000:cs,226566:cs,226471:cs,294538:cs,186094:cs,186065:cs,95599:cs,&pos=4&page=1&nbl=11&pgs=10&hwords=%C3%A1gua~&checktexte=checkbox&visu=#texte>

*Directiva 91/271/CEE do Conselho, relativa ao tratamento de águas residuais urbanas*. (21 de Maio de 1991). Obtido em 2009 de Março, de Jornal Oficial da União Europeia nº L 135:

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:1991:135:0040:045:PT:HTML>

Eddy, & Metcalf. (1991). *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse*.

Energia, G. (2007). Obtido em 10 de Junho de 2009, de <http://www.galpenergia.com/galp+energia/portugues/produtos+e+servicos/na+estrada/lavagem+galp/lavagem+galp.htm>

EPA. (1999). Chlorine Disinfection. In *Wastewater Technology Fact Sheet*. United States Of America: EPA.

EPA. (1999). Ozone Disinfection. In *Wastewater Technology Fact Sheet*. United States of America: EPA.

EPA. (1999). Ultraviolet Disinfection. In *Wastewater Technology Fact Sheet*. United States of America: EPA.

EUWI. (2007). *Mediterranean Wastewater Reuse Report*. EU Water Initiative.

FAO. (2005). *AQUASTAT - FAO's information system on water and agriculture*. Land and Water Development Division.

FDEP. (2005). Guide to Best Management Practices for 100% Closed-Loop Recycle Systems at Vehicle and Other Equipment Wash Facilities. *Protection, Florida Department of Environmental* .

Foster, S., Lawrence, A., & Morris, B. (1998). *Groundwater in Urban Development - Assessing Management Needs and Formulating Policy Strategies*. World Bank Technical.

Gohringer, S. (2006). *Uso urbano não potável de efluentes de estações de tratamento de esgoto sanitário. Estudo de caso: município de Campo Largo - PR*. Dissertação de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Brasil - Curitiba.

Hamada, T., & Miyazaki, Y. (2004). Reuse of carwash water with a cellulose acetate ultrafiltration membrane acid by flocculation and activated carbon treatments. *Desalination* .

- Hidro Water, S. (2002). *Hidro Water, S.L.* Obtido em 18 de Junho de 2009, de <http://www.hidro-water.com/>.
- IRAR. (s/data). *Instituto regulador de Água e Resíduos*. Obtido em 2009, de [http://www.irar.pt/presentationlayer/artigo\\_00.aspx?artigoid=24](http://www.irar.pt/presentationlayer/artigo_00.aspx?artigoid=24).
- IRAR. (2007). Recomendação nº 05/2007. In *Desinfecção da água destinada ao consumo humano*. Lisboa.
- Kassis, W., G.Hober, M., P. Sansing, J., Maday, R., Kern, R., & H. Watkins, P. (2002). Scotts Valley Water District. In *Customer on-site design Manual for Water Recycling Program*. California.
- Marecos do Monte, . H., & Albuquerque, A. (2009). Reutilização de águas Residuais. *IRAR - Guia tecnico Versão Provisório* .
- Marecos do Monte, M. (2008). *A reutilização de águas residuais tratadas e a gestão sustentável dos recursos hídricos*. CLME.
- Marecos do Monte, M. (1996). *Contributo para a utilização de águas residuais tratadas para irrigação*. Lisboa: LNEC.
- Marecos do Monte, M. (2007). Water reuse in Europe. *European Water Association (EWA)* .
- Martins, A., Freire, J., Sousa, J., & Ribeiro, A. (2006). Potencialidades de reutilização de águas residuais para regade campos de golfe na região do Algarve. *ENASB, APESB, Lisboa* .
- Melin, T., Jefferson, B., Bixio, D., Thoeye, C., De Wilde, W., De Koning, J., et al. (2005). Membrane bioreactor technology for wastewater treatment and reuse. *Desalination* , pp. 271-282.
- Metcalf, & Eddy. (2003). *Wastewater Engineering - Treatment and Reuse* (4ª edição ed.). Mc Graw Hill.
- Miguel, A. (Setembro de 2007). Aplicação da técnica de PCR na pesquisa de bactérias patogénicas em biofilmes de condutas e reservatórios de água do sistema de distribuição da EPAL. Instituto superior Técnico - Universidade Técnica de Lisboa.
- MSPC. (Maio de 2008). *Fluidos V-50: Dinâmica dos fluidos viscosos*. Obtido em 4 de Junho de 2009, de [http://www.mspc.eng.br/flidetc/fluid\\_0550.shtml](http://www.mspc.eng.br/flidetc/fluid_0550.shtml)
- Murakami, T. (2005). Membrane Bioreactors (MBR) for Wastewater Reuse. Japan: Japan Sewage Works Agency.
- NP4434. (2005). *Reutilização de águas residuais urbanas tratadas na rega*. IPQ.
- Oknich, J. (2002). The Perceived Environmental Impact of Car Washing.
- PEAASAR. (2007). *Plano Estratégico de Abastecimento de Água e de Saneamento de Águas Residuais*. Ministerio do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional.
- PG&E. (2003). Municipal Wastewater Treatment Plant Energy Baseline Study. California.

- Planetearth. (2007). Água subterrânea - reservatório para um planeta com sede. *International Year of Planet Earth*. Comissão Nacional da Unesco.
- Quelhas dos Santos, J. (2002). Campos de Golfe: A Fertilização e a Qualidade do Ambiente.
- Quintela, A. d. (2005). *Hidráulica*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.
- Ramalho, P., Pedras, C., Conceição, S., & Rosa, M. (2007). Dimensionamento de um Sistema de Rega para Utilização de Águas Residuais Tratadas. *Congresso Nacional de Rega e Drenagem*.
- Remco, E. (s.d.). *REMCO ENGINEERING - Water Systems and Controls*. Obtido em 15 de Junho de 2009, de Ion Exchange Systems and Equipment Literature: <http://www.remco.com/ixidx.htm>
- SCVWD. (2002). Obtido em 21 de Abril de 2009, de Santa Clara Valley Water District: [http://www.scvwd.dst.ca.us/Water/Water\\_Quality/How\\_We\\_Clean\\_Your\\_Water/The\\_treatment\\_process.shtml](http://www.scvwd.dst.ca.us/Water/Water_Quality/How_We_Clean_Your_Water/The_treatment_process.shtml)
- Stephan, K., Gang, Y., Winfried, S., & Pinnekamp, J. (2007). Membrane Technology: the key to the future of wastewater treatment in China.
- Sustentável, F. (2005). Futuro Sustentável - Plano Estratégico de Ambiente do Grande Porto.
- Takashi, A., Ph., D., & P., E. (1999). The role of wastewater reclamation and re-use in sustainable water resources management. (D. o.-U. Davis, Ed.)
- Till, S., & Mallia, H. (2001). Membrane Bioreactors: wastewater treatment applications to achieve high quality effluent. *64th Annual water Industry Engineers and Operators Conference*. Bendigo.
- UNESCO, WMO, & IAEA. (2006). The State of the Resource. In *The United Nations World Water Development Report 2*.
- Urkiaga, A., & De las Fuentes, L. (2004). Best Available technologies for water reuse and recycling: needed steps to obtain the general implementation of water. *Fundación Gaiker*.
- USEPA. (2004). *Guidelines for water reuse*. U.S. Agency for International Development, Technical Report No. EPA/625/R-04/108.
- Varón, D. M. (10 de Outubro de 2003). *Waste stabilization ponds for wastewater treatment*. Obtido em 17 de Abril de 2009, de IRC: <http://www.irc.nl/page/8237>
- Vasquez, C., Alfonsin, G., & Mohr, K. (1999). A New High Efficiency Automatic Car Wash Water Recycling System. *Water Environment Federation Industrial Wastes Technical Conference*. Indianapolis, Indiana.
- Vigneswaran, S., & Sundaravadeivel, M. (2004). *Recycle and Reuse of Domestic Wastewater*. Oxford, UK: Eolss Publishers.
- Vitoria, E. (2002). *Disinfection Of Treated Wastewater*. Australia.

Water, C. W. (2009). *Recycled Water Standpipe*. Obtido em 30 de Maio de 2009, de [http://www.citywestwater.com.au/business/recycled\\_water\\_standpipe.htm#uses](http://www.citywestwater.com.au/business/recycled_water_standpipe.htm#uses)

WBCSD. (2006). *Facts and trends: Water*. World Business Council for Sustainable Development.

Wintgens, T., Melin, T., Schafer, A., Khan, S., Muston, M., Bixio, D., et al. (2004). The role of membrane processes in municipal wastewater reclamation and reuse. *Desalination* .





## ANEXOS

---

*Anexo A – Parâmetros Caracterizadores da Qualidade da Água para Reutilização na Rega*

---

---

*Anexo B – Controlo de Instalações de Rega com Águas Residuais Tratadas (NP 4434-2005)*

---

---

*Anexo C – Percepção Social da População de Valongo sobre a Temática em Estudo*

---

---

*Anexo D – Resultados Obtidos no Estudo de Caso da ETAR de Ermesinde*

---

---

*Anexo E – Caracterização e Orçamentação dos Equipamentos Propostos*

---

---

*Anexo F - Resultados Obtidos no Estudo de Caso da ETAR de Campo*

---



# **ANEXO A**

## **PARÂMETROS CARACTERIZADORES DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA A REUTILIZAÇÃO NA REGA**

**Tabela 73** – Valores a cumprir referentes à água destinada à rega, citadas no Decreto-Lei nº 236/98.

Parâmetro	Expressão dos resultados	VMR	VMA	Observações
Alumínio (Al)	mg/l	5,0	20	Risco de improdutividade em solos com $pH < 5,5$ . Em solos com $pH > 7$ o risco de toxicidade é eliminado por precipitar o alumínio.
Arsénio (As)	mg/l	0,10	10	Toxicidade variável consoante as culturas, oscilando entre 12 mg/l para a erva-do-sudão e 0,05 mg/l para o arroz.
Bário (Ba)	mg/l	1,0	1,0	-
Berílio (Be)	mg/l	0,5	1,0	-
Boro (B)	mg/l	0,3	3,75	Para solos de textura fina e em curtos períodos recomenda-se como concentração máxima 2 mg/l.
Cádmio (Cd)	mg/l	0,01	0,05	Tóxico para o feijoeiro, beterraba e nabo em concentrações da ordem dos 0,1 mg/l em soluções nutritivas. Recomenda-se limites mais restritivos, dado este ião se acumular nas plantas e no solo, podendo prejudicar o ser humano.
Chumbo (Pb)	mg/l	5,0	20	As concentrações muito elevadas podem inibir o desenvolvimento celular das culturas.
Cloretos (Cl)	mg/l	70	-	Para a cultura do tabaco recomenda-se uma concentração inferior a 20 mg/l, não devendo exceder os 70 mg/l.
Cobalto (Co)	mg/l	0,05	10	Tóxico em soluções nutritivas para a cultura do tomate na ordem dos 0,1 mg/l. Tende a ser inactivo em solos neutros ou alcalinos.
Cobre (Cu)	mg/l	0,20	5,0	Tóxico em soluções nutritivas com concentrações entre 0,1 mg/l e 1 mg/l para diversas culturas.
Crómio total (Cr)	mg/l	0,10	20	Por se desconhecer o seu efeito tóxico, recomendam-se limites mais restritivos.
Estanho (Sn)	mg/l	2,0		-
Ferro (Fe)	mg/l	5,0		Não tóxico em solos bem arejados, mas pode contribuir para a acidificação do solo, tornando indisponível o fósforo e o molibdénio.
Flúor (F)	mg/l	1,0	1,5	Inactivado em solos neutros e alcalinos.
Lítio (Li)	mg/l	2,5	5,8	Tolerado pela maioria das culturas em concentrações superiores a 5 mg/l; móvel no solo. Tóxico para os citrinos a baixas concentrações (<0,075 mg/l).
Manganés (Mn)	mg/l	0,20	10	Tóxico para um certo número de culturas desde algumas décimas até poucos mg/l, mas normalmente só em solos ácidos.
Molibdénio (Mo)	mg/l	0,005	0,05	Não é tóxico em concentrações normais. Em solos ricos em molibdénio livre as forragens podem no entanto ocasionar toxicidade nos animais.
Níquel (Ni)	mg/l	0,5	2,0	Tóxico para um certo número de culturas entre 0,5 mg/l e 1 mg/l; reduzida toxicidade para $pH$ neutro ou alcalino.
Nitratos (NO <sub>3</sub> )	mg/l	50		Concentrações elevadas podem afectar a produção e qualidade das culturas sensíveis. No plano de fertilização da parcela convirá contabilizar o azoto veiculado pela água de rega.
Salinidade:				Depende muito da resistência das culturas à salinidade, bem

CE SDT	dS/m mg/l	1 640		como do clima, do método de rega e da textura do solo.
SAR (1)	mg/l	8		Depende da salinidade da água, características do solo e do tipo de cultura a ser irrigada.
Selénio (Se)	mg/l	0,02	0,05	Tóxico para culturas em concentrações da ordem dos 0,025 mg/l. Em solos com um teor relativamente elevado em selénio absorvido as forragens podem ocasionar toxicidade nos animais.
Sólidos suspensos totais (SST)	mg/l	60		Concentrações elevadas poderão ocasionar colmatagem em solos e assoreamento nas redes de rega, bem como entupimentos nos sistemas de rega gota-a-gota e aspersão, bem como neste último sistema a água poderá provocar depósitos sobre as folhas e frutos.
Sulfatos (SO <sub>4</sub> )	mg/l	575		-
Vanádio (V)	mg/l	0,10	1,0	Tóxico para diversas culturas em concentrações relativamente baixas.
Zinco (Zn)	mg/l	2,0	10,0	Tóxico para diversas culturas numa gama ampla, toxicidade reduzida a pH>6 e solos de textura fina ou de solos orgânicos.
pH	Escala de Sorensen	6,5-8,4	4,5-9,0	-
Coliformes fecais	/100 ml	100		-
Ovos de parasitas intestinais	N/l		1	-

(1) A relação de adsorção de sódio (SAR) é traduzida pela seguinte equação, onde as concentrações devem estar expressas em meq/l:  $SAR = Na / [(Ca + Mg) / 2]^{1/2}$ .



**ANEXO B**

**CONTROLO DE INSTALAÇÕES DE REGA COM**

**ÁGUAS RESIDUAIS TRATADAS (NP 4434-**

**2005)**

**Tabela 74 – Mapa de registo de nutrientes e metais pesados aplicados ao solo (NP4434, 2005).**

Identificação do utilizador responsável

Nome (empresário agrícola ou entidade gestora do sistema) -	Código informático -
Morada -	Concelho e Freguesia -

### Identificação e localização da instalação

### Caracterização da parcela regada

Designação -	Código informático -	Nome -	Cultura -
Propriedade -	Concelho e Freguesia -	Código informático -	Dotação de rega (m³) -
		Área (ha) -	Método de rega -

[illegible]



### Caracterização da parcela regada

Nome -	Área (ha) -	Dotação de rega (m3) -
Código informático -	Cultura (espécie a cultivar) -	Método de rega -

[illegible]

**Tabela 76 - Mapa de programação da fertilização (NP4434, 2005).**

Identificação do utilizador responsável

Nome (empresário agrícola ou entidade gestora do sistema) -	Código informático -
Morada -	Concelho e Freguesia -

### Caracterização da parcela regada

Nome -	Área (ha) -	Dotação de rega (m3) -
Código informático -	Cultura (espécie a cultivar) -	Método de rega -

Necessidades nutritivas da cultura (Recomendações de fertilização)	N (kg/ha) -	P2O5 (kg/ha) -	K2O (kg/ha) -
---	-------------	----------------	---------------

[illegible]

**Tabela 77 - Mapa de execução da fertilização (NP4434, 2005).**

Identificação do utilizador responsável

Nome (empresário agrícola ou entidade gestora do sistema) -	Código informático -
Morada -	Concelho e Freguesia -

### Caracterização da parcela regada

Nome -	Área (ha) -	Dotação de rega (m³) -
Código informático -	Cultura (espécie a cultivar) -	Método de rega -

Necessidades nutritivas da cultura (Recomendações de fertilização)	N (kg/ha) -	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/ha) -	K <sub>2</sub> O (kg/ha) -
---	-------------	---	----------------------------

[illegible]

**Tabela 78 – Mapa de acompanhamento da qualidade da água no solo (NP4434, 2005).**

Identificação do utilizador responsável

Nome (empresário agrícola ou entidade gestora do sistema) -	Código informático -
Morada -	Concelho e Freguesia -

### Caracterização da parcela regada

Nome -	Área (ha) -	Dotação de rega (m³) -
Código informático -	Cultura (espécie a cultivar) -	Método de rega -

[illegible]

# **ANEXO C**

## **PERCEPÇÃO SOCIAL DA POPULAÇÃO DE VALONGO**

## EXEMPLO DO INQUÉRITO REALIZADO

### INQUÉRITO

ÂMBITO: DISSERTAÇÃO DE FINAL DE CURSO DO Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente, cujo tema é “Avaliação do Potencial de Reutilização do Efluente Tratado na ETAR do Concelho de Valongo”

OBJECTIVO: RECOLHER INFORMAÇÃO QUANTITATIVA BASEADA NA INQUISIÇÃO DE VÁRIOS GRUPOS REPRESENTATIVOS DA POPULAÇÃO EM ESTUDO.



Preencha com (x) a sua opção!

**1. IDADE**

18-25 ANOS ☐ 26 – 65 ANOS ☐ >65 ANOS ☐

**2. SEXO**

MASCULINO ☐ FEMININO ☐

**3. HABILITAÇÕES ACADÉMICAS**

≤ 9º ANO ☐ ≤ 12º ANO ☐ LICENCIATURA/MESTRADO ☐ OUTRO

**4. SABE O QUE É UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS (ETAR)?**

SIM ☐ NÃO ☐ JÁ OUVI FALAR ☐

**5. CONHECE A EXPRESSÃO “REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS”?**

SIM ☐ NÃO ☐ JÁ OUVI FALAR ☐

**6. NA SUA OPINIÃO, ONDE É QUE A ÁGUA RESIDUAL TRATADA DEVERIA SER APLICADA EM SUBSTITUIÇÃO DA ÁGUA POTÁVEL?**

USOS DOMÉSTICOS NÃO POTÁVEIS

LAVAGEM DE CARROS

REGA DE ESPAÇOS VERDES

USOS INDUSTRIAIS

OUTRO USO

NENHUM

<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="text"/>
<input type="text"/>

**7. ACHA QUE PORTUGAL DEVE APOSTAR NA REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS PARA DIVERSOS USOS?**

SIM, PORQUE...

ESTAMOS A ATRAVESSAR UM PERÍODO DE ESCASSEZ DE ÁGUA

DIMINUÍMOS A CARGA POLUENTE DESCARREGADA NOS MEIOS HÍDRICOS

O CUSTO DA ÁGUA POTÁVEL É ALTO

OUTRO

<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="text"/>

**NÃO, PORQUE...**

EXISTE MUITA ÁGUA POTÁVEL

O CUSTO DA ÁGUA É BAIXO

EXISTEM OUTRAS ÁREAS MAIS IMPORTANTES ONDE SE DEVERIA INVESTIR

É UMA PERDA DE TEMPO

OUTRO


**8. SE SOUBESSE QUE A ÁGUA RESIDUAL ESTARIA EM PERFEITAS CONDIÇÕES, UTILIZARIA ESTA ÁGUA PARA LAVAR O SEU VEÍCULO OU REGAR O SEU JARDIM?**

SIM

☐

NÃO

☐

NÃO SEI

☐

**9. QUAL É A SUA PRINCIPAL PREOCUPAÇÃO, CASO A ÁGUA RESIDUAL TRATADA SEJA USADA NUM CENTRO DE LAVAGEM DE VEÍCULOS?**

QUE NÃO TRANSMITA DOENÇAS

NÃO CAUSE NENHUM DANO AO AUTOMÓVEL

QUE A ÁGUA NÃO TENHA CHEIRO

QUE NÃO CAUSE DANOS AO MEIO AMBIENTE

NENHUMA


**10. CASO UM PARQUE, O QUAL COSTUMA VISITAR FREQUENTEMENTE, FOSSE REGADO COM ÁGUAS RESIDUAIS TRATADAS EM CONDIÇÕES ÓPTIMAS, DEIXARIA DE O VISITAR?**

SIM

☐

NÃO

☐

NÃO SEI

☐

AGRADEÇO O FACTO DE PARTILHAR A SUA OPINIÃO,

JOÃO MACHADO PINTO

## CARACTERIZAÇÃO DO CONJUNTO AMOSTRAL

Como foi referido anteriormente, um dos princípios a cumprir para executar e planear com sucesso um projecto de reutilização de água residuais urbanas é obter a aceitação do público. Por esta razão foi efectuado um inquérito, em Junho de 2009, a alguns cidadãos de Valongo de modo a obter opiniões sobre o conceito “reutilização de águas residuais” e abertura para uma possível implementação de um projecto desta natureza na rega do Parque Urbano de Ermesinde e num centro de lavagem de veículos na região de Campo.

O inquérito foi composto por 10 perguntas, cuja dimensão da amostra foi de 56 pessoas, com 46% das respostas efectuadas por pessoas do sexo masculino e 54% por pessoas do sexo feminino, como se pode ver na Figura 47.

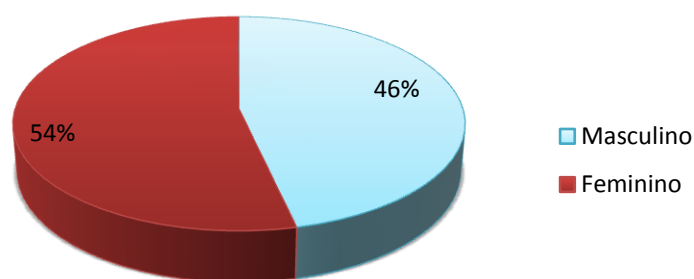


Figura 47 – Distribuição da amostra por género.

Relativamente sobre a **faixa etária**, 36% correspondeu a pessoas com idades compreendidas entre os 18-25 anos, 63% a pessoas entre os 26-65 anos e apenas 2% possuíam idades superiores a 65 anos. Estes resultados podem ser observados na Figura 48.

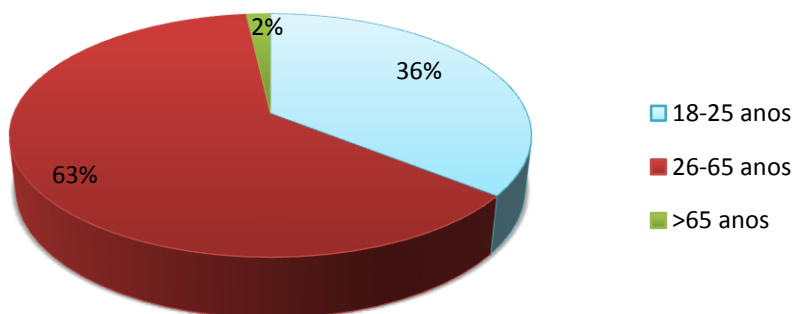


Figura 48 – Distribuição de idades da amostra



Sobre as **habilitações académicas** de cada pessoa que respondia ao inquérito, 32% possuía o 9º ano de escolaridade, 48% o 12º ano, 16% disponha de Licenciatura/Mestrado e apenas 4% possuíam outras habilitações académicas, vidé Figura 49.

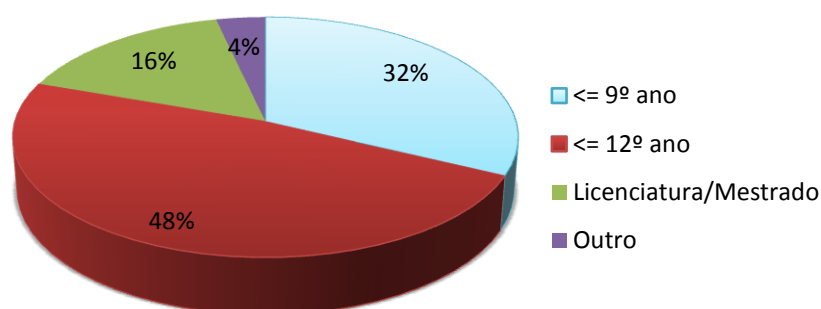


Figura 49 – Distribuição das Habilitações Académicas.

A primeira pergunta efectuada “**Sabe o que é uma Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR)?**” obteve 64% de respostas afirmativas e apenas 11% de respostas negativas. No entanto, 25% referiram que já ouviram falar numa ETAR (vidé Figura 50).

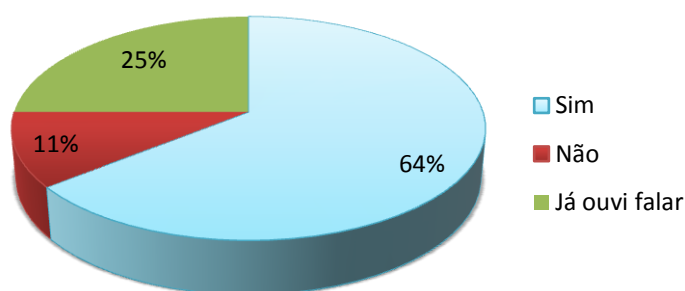
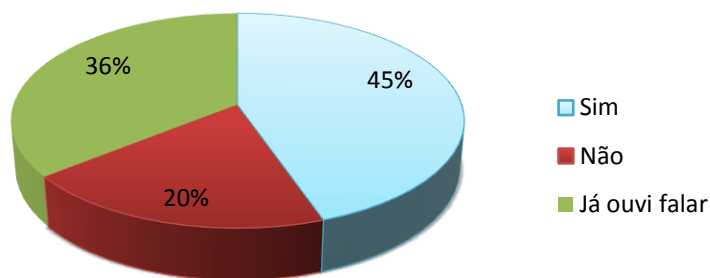


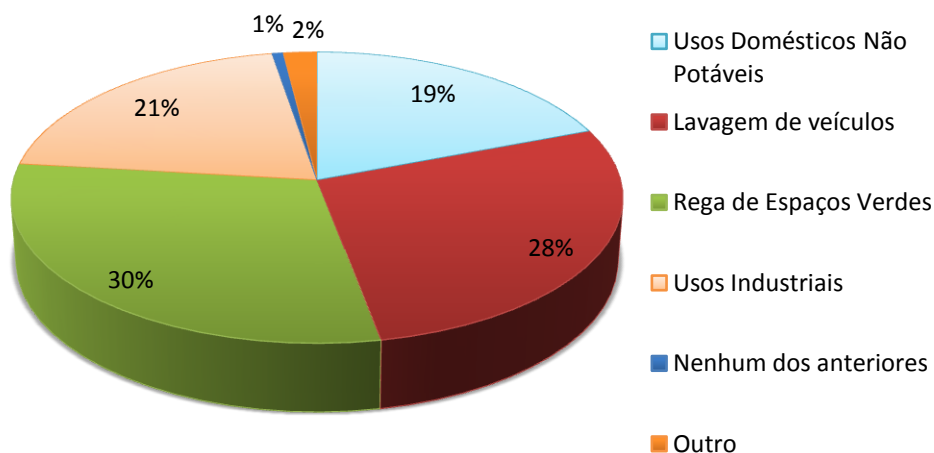
Figura 50 – Distribuição dos resultados sobre do conhecimento de uma ETAR

A pergunta seguinte era mais específica, “**Conhece a expressão “Reutilização de Águas Residuais”?**”, no entanto, 45% responderam que conheciam esta expressão, 36% que já tinham ouvido falar e 20% desconhecia por completo esta expressão (vidé Figura 51). Este resultado pode demonstrar que existe algum conhecimento nesta área do ambiente, nas pessoas que foram inquiridas.



**Figura 51** – Distribuição dos resultados sobre o conhecimento sobre a temática Reutilização de Águas Residuais.

Quando foi colocada a seguinte questão ***"Na sua opinião, onde é que a água residual tratada deveria ser aplicada em substituição da água potável?"*** salientar o facto de as opções mais escolhidas corresponderam à rega de espaços verdes e lavagem de veículos, com 30% e 28% respectivamente. Apenas 1% referiu que a aplicação das águas residuais, em diversos usos, não deveria ser aplicada (vidé Figura 52).



**Figura 52** – Distribuição dos resultados sobre os usos possíveis para reutilização

Na seguinte pergunta ***"Acha que Portugal deve apostar na reutilização de águas residuais para diversos usos?"*** destacar que 90% das respostas apoia a reutilização de águas residuais, principalmente por estarmos a atravessar um período de escassez de água e porque o custo da água potável é alto. Os restantes 10% das respostas foram negativas relativamente a este assunto (vidé Figura 53).

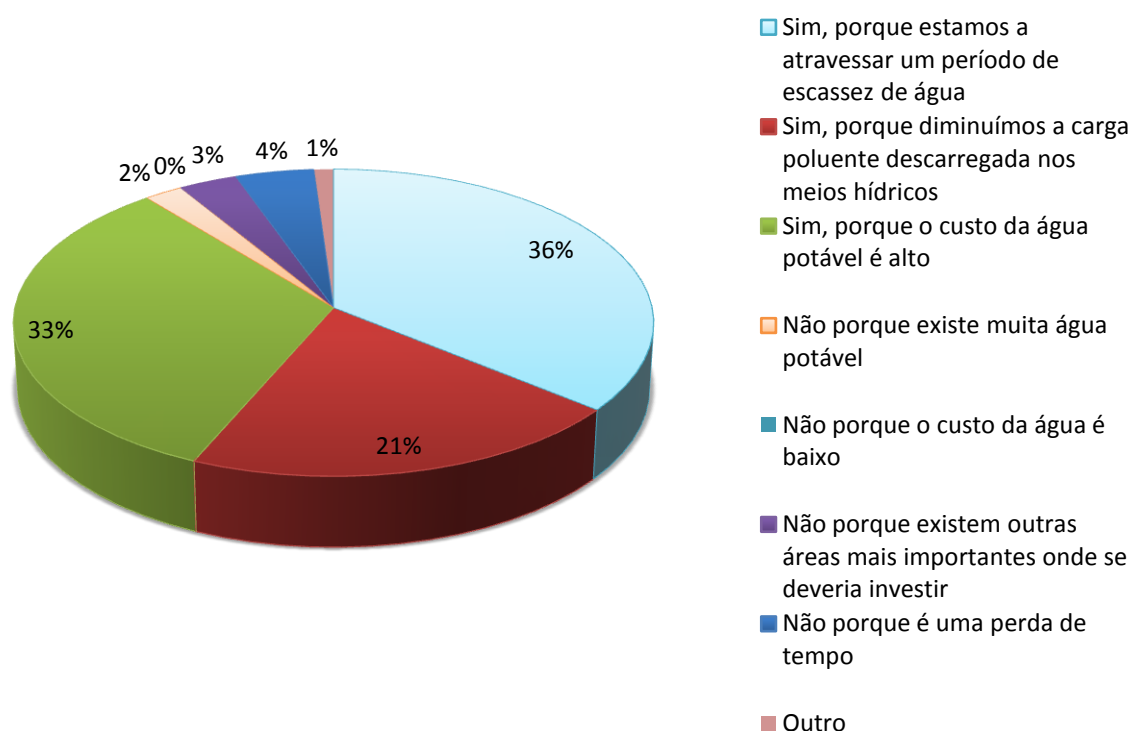


Figura 53 – Distribuição dos resultados sobre os motivos de reutilização.

Quando questionadas sobre **“Se soubesse que a água residual estaria em perfeitas condições, utilizaria esta água para lavar o seu veículo ou regar o seu jardim?”**, 68% dos inquiridos referiram que utilizam, 20% que não sabiam e os restantes 13% responderam negativamente (vidé Figura 54).

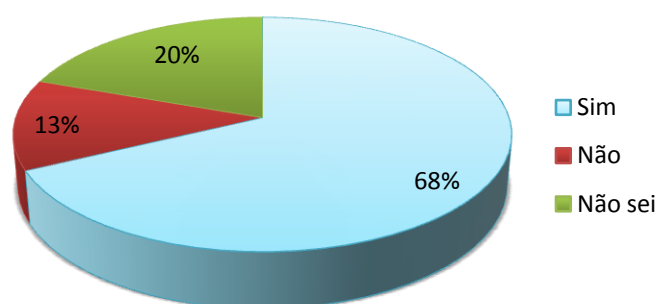
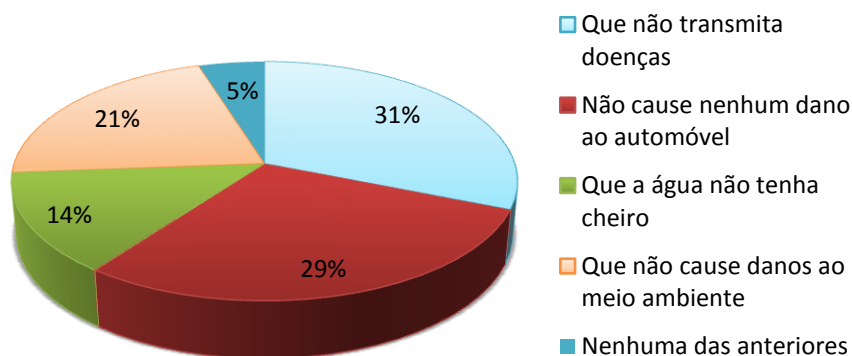


Figura 54 – Distribuição dos resultados sobre a opinião relativa à rega e à lavagem de veículos.

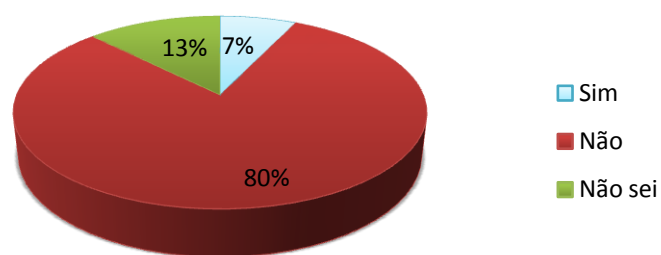
A penúltima questão referia-se **“Caso fosse implementado um sistema de lavagem de veículos, na freguesia de Campo, que utilizasse água residual tratada, qual seria a sua principal preocupação?”**. Os resultados estão apresentados na Figura 55. Nesta questão os resultados não foram discrepantes,

como nas perguntas anteriores, referir que 31% respondeu que a principal preocupação é que a água não transmita doenças, 29% que não cause nenhum dano ao automóvel, 21% que não cause danos ao meio ambiente, 14% que a água não tenha cheiro e apenas 5% respondeu que não considera nenhuma das hipóteses anteriores.



**Figura 55** – Distribuição dos resultados sobre as preocupações relativas à lavagem de veículos com águas residuais tratadas.

Por fim a última questão foi “**Caso o parque urbano da freguesia de Ermesinde fosse regado com águas residuais tratadas em condições óptimas, deixaria de o visitar?**” a grande maioria dos inquiridos, cerca de 80%, respondeu que não deixaria de visitar, 13% respondeu que não sabia, no entanto 7% das respostas foram negativas, referindo que deixariam de visitar o parque caso este fosse regado com águas residuais (vidé Figura 56).



**Figura 56** - Distribuição dos resultados sobre a opinião relativa à rega do Parque Urbano com águas residuais tratadas.

Os resultados obtidos no inquérito efectuado a algumas pessoas residentes da freguesia de Ermesinde, foi interessante verificar que as suas opiniões eram consideravelmente favoráveis à reutilização de águas residuais. É de salientar que os resultados obtidos poderão ser apenas uma declaração de intenções e que na prática as preocupações das pessoas sejam superiores. Neste sentido, caso projectos desta índole venham a ser

implementados no concelho de Valongo, deve-se acompanhar o projecto com campanhas de educação ambiental que poderá incluir folhetos informativos, sessões de esclarecimento na CMV e propagação de informação, deste tipo de projectos, ao nível da imprensa local e através dos meios televisivos. E por fim, como já foi referido, devem ser afixados, periodicamente, os resultados da análise da água, nos locais onde a água residual tratada é utilizada.



# **ANEXO D**

## **RESULTADOS OBTIDOS NO ESTUDO DE CASO DA ETAR DE ERMESINDE**

## Descrição do Processo de Tratamento existente na ETAR

Esta descrição foi efectuada tendo por base os documentos relativos à ETAR de Ermesinde fornecidos pela Águas de Valongo, S.A., nomeadamente: o Manual de Instruções de Funcionamento e de Manutenção.

### Descrição da Fase Líquida

**Gradagem Grosseira:** A água residual chega à ETAR e passa por uma grade fixa de limpeza manual com um espaçamento de 40 mm.

**Estação Elevatória Geral:** A ETAR é alimentada a partir de uma estação elevatória geral onde se encontram instaladas três bombas submersíveis. Duas bombas servem as duas linhas de tratamento da fase líquida e a terceira constitui uma reserva. A água segue para a gradagem.

**Gradagem:** No canal principal encontra-se instalado uma grade mecânica curva, com barras espaçadas 20 mm, dotada de pente de limpeza que remove os resíduos da grade para um parafuso transportador que os coloca num contentor. Os resíduos retirados na grade, denominados de gradados são encaminhados para incineração.

**Medição de Caudal:** De seguida é efectuado uma medição de caudal é efectuada em canal Parshall de 9'' equipado com um medidor de caudal ultrasónico. A jusante a água residual é sujeita a uma etapa de desarenação/desengorduração.

**Desarenação/Desengorduração:** As operações de desarenação e desengorduração são efectuadas num mesmo órgão de tratamento, um desarenador tipo pista grit, do qual as areias sedimentadas no fundo são bombeadas para um classificador de areias, separadas da água e descarregadas num contentor. As areias são depositadas em aterro.

Por seu lado as gorduras são levadas a flotar por um arejador submersível, temporizável, e são removidas sob a forma de escumas, por raspagem mecânica de superfície, para uma caixa de armazenamento. Posteriormente, as gorduras, são transportadas a destino final adequado.

**Caixa Repartidora de Caudal:** A jusante do sistema de tratamento preliminar está construída uma caixa repartidora de caudal, que permite distribuir uniformemente o caudal afluente pelas duas linhas de tratamento da fase líquida existentes seguindo para o decantador primário.

**Decantação Primária:** Na decantação primária faz-se a remoção das partículas sólidas sedimentáveis existente na água residual. Para esse efeito estão construídos dois decantadores primários de planta circular, tronco-cónicos, com raspagem mecânica de lamas, dotados de uma caixa de recolha de sobrenadantes. O volume unitário destes órgãos é de 502 m<sup>3</sup>, sendo o seu diâmetro de 16 m e a altura de água na parte cilíndrica de 2,5 m.

**Tanques de Arejamento (Reactor Biológico):** Nestes tanques promove-se a mistura da água residual proveniente dos decantadores primários com a biomassa, na presença de oxigénio, para degradação da matéria



orgânica. O tratamento biológico é efectuado em quatro tanques de arejamento, pertencentes cada dois a uma linha de tratamento. Os tanques são de planta rectangular com 25 m de comprimento e 6 de largura, para uma altura de 4,5 m.

O fornecimento de oxigénio é assegurado por três compressores, a dois dos quais estão acoplados variadores de velocidade accionados pelo teor de oxigénio dissolvido medido no tanque de arejamento. Existe também em cada tanque, um medidor de pH e outro de matéria em suspensão. A água termina o seu percurso na fase líquida na etapa de decantação secundária.

**Decantação secundária:** Nesta etapa do tratamento, também designada por clarificação, faz-se a separação do efluente tratado e da biomassa. Para esse efeito estão construídos dois clarificadores de planta circular, tronco-cónicos com diâmetro útil de 22 m e altura de água periférica de 3 m, equipados com uma ponte que assegura a raspagem mecânica das lamas sedimentadas no fundo e a dos sobrenadantes existentes à superfície. A água residual tratada é então descarregada no Rio Leça.

#### **Descrição do Processo de Tratamento da Fase Sólida**

A fase sólida resulta da necessidade de tratar os subprodutos resultantes do tratamento do efluente, produzidos ao longo da fase líquida, à medida que vão sendo removidos.

**Extracção das Lamas Primárias:** As lamas resultantes da decantação primária são transferidas para o espessador gravítico, aumentando a sua concentração.

**Recirculação/Extracção de Lamas Biológicas:** As lamas biológicas sedimentadas na decantação secundária passam, por, gravidade, para uma estação elevatória de recirculação/extracção que asseguram a sua transferência para a cabeça dos tanques de arejamento. No entanto as lamas em excesso seguem para o espessador gravítico de lamas.

**Espessamento Gravítico de Lamas:** As lamas primárias e biológicas são então misturadas e espessadas num órgão cilindro cónico, com um diâmetro de 14 m e uma capacidade útil de 770 m<sup>3</sup>, equipado com raspador e pente de espessamento.

Os sobrenadantes do espessador são encaminhados, por gravidade, para a cabeça da estação, sendo reintroduzidos no processo de tratamento da fase líquida.

As lamas espessadas são, periodicamente, bombadas para a unidade de desidratação de lamas.

**Unidade de Preparação de Polielectrólito:** A unidade de preparação de polielectrólito é constituída fundamentalmente por uma tremonha para polímero, uma bomba doseadora de pó e por três cubas de preparação dispostas em série. O polímero em emulsão é injectado à cabeça da centrifugadora (parte integrante da unidade de desidratação de lamas). Na linha de injeção de polímero em emulsão existe a possibilidade de diluição com água da rede de abastecimento.

**Unidade de Desidratação de Lamas:** Na unidade de desidratação de lamas, esta é constituída por uma centrifugadora que é alimentada a partir do fundo do espessador gravítico de lamas através de duas bombas. O prévio acondicionamento da lama com polielectrólito facilita a separação sólido/líquido durante a centrifugação. As lamas desidratadas são descarregadas numa bomba de lâminas vibratórias/ descompactador que recebe também cal viva da unidade de estabilização química.

Depois de misturadas, lamas desidratadas e cal, são bombadas para contentores, nos quais abandonam a estação para destino final. O líquido resultante volta para a caixa de chegada das águas residuais.

**Unidade de Estabilização Química de Lamas:** A unidade de estabilização química possui um silo para armazenamento de cal com uma capacidade de 48 m<sup>3</sup>, um filtro de cal, um doseador de cal e um injector de cal.

### **Descrição do Processo de Tratamento da Fase Gasosa**

Devido à natureza dos produtos tratados uma ETAR é, naturalmente, uma fonte de odores. Estes odores, na sua maioria bastante desagradáveis, têm as suas origens nos gases ou vapores emanados por certos produtos contidos nas águas residuais, ou provenientes das transformações efectuadas no decurso do tratamento.

A ETAR de Ermesinde é especialmente sensível à questão da propagação dos odores devido à sua localização. Para evitar a propagação desses odores está equipada com um sistema de desodorização, mais propriamente o sistema de desodorização por lavagem química. Este sistema permite assim uma melhoria significativa da qualidade do ar de todo o espaço envolvente, diminuindo assim qualquer impacto negativo devido a odores característicos neste tipo de instalações.

Sistema de desodorização de ar: Este sistema converge o ar da estação elevatória geral, do edifício da gradagem mecânica, do canal Parshall e desarenador, da caixa repartidora de caudal e das elevatórias de lamas primárias. A desodorização química é constituída por duas torres de lavagem sendo que na primeira torre o ar passa em contracorrente com uma solução ácida para estabilização da amónia e aminas e na segunda torre passa em contracorrente com uma solução oxidante e básica para remoção de sulfuretos e estabilização de ácidos formados na primeira torre.

**Tabela 79** - Estimativa do consumo de água médio diário e consumo anual, no Parque Urbano, para a vida útil do projecto em estudo.

Ano	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Consumo anual
	Consumo médio diário m³/dia												m³/ano
0	10	16	16	105	92	183	146	269	121	76	24	3	31830
1	11	17	17	110	97	192	153	282	127	80	25	3	33422
2	11	18	18	116	101	202	161	297	133	84	26	3	35093
3	12	19	19	122	107	212	169	311	140	88	28	3	36847
4	12	19	19	128	112	222	177	327	147	92	29	4	38690
5	13	20	20	134	117	234	186	343	154	97	31	4	40624
6	13	21	21	141	123	245	196	360	162	102	32	4	42655
7	14	23	23	148	129	257	205	379	170	107	34	4	44788
8	15	24	24	155	136	270	216	397	179	112	35	4	47027
9	16	25	25	163	143	284	226	417	188	118	37	5	49379
10	16	26	26	171	150	298	238	438	197	124	39	5	51848
11	17	27	27	180	157	313	250	460	207	130	41	5	54440
12	18	29	29	189	165	329	262	483	217	136	43	5	57162
13	19	30	30	198	173	345	275	507	228	143	45	6	60020
14	20	32	32	208	182	362	289	533	240	150	48	6	63021
15	21	33	33	218	191	380	304	559	252	158	50	6	66172

**Tabela 80** – Estudo económico para a Alternativa I.

Ano	Caudal (m³/ano)	Inv. inicial (€)	Custos Conservação (€/ano)	Custos Manutenção (€/ano)	Custos de energia (€/ano)	Taxa de inflação (%)	Custos totais Actualizados (€/ano)
0	31.830	176.810	-	-	-	1,00	176.810
1	33.422		1.547	1.547	4.295	1,02	7.388
2	35.093		1.547	1.547	4.359	1,03	7.452
3	36.847		1.547	1.547	4.424	1,05	7.517
4	38.690		1.547	1.547	4.491	1,06	7.584
5	40.624		1.547	1.547	4.558	1,08	7.651
6	42.655		1.547	1.547	4.626	1,09	7.720
7	44.788		1.547	1.547	4.696	1,11	7.789
8	47.027		1.547	1.547	4.766	1,13	7.859
9	49.379		1.547	1.547	4.838	1,14	7.931
10	51.848		1.547	1.547	4.910	1,16	8.003
11	54.440		1.547	1.547	4.984	1,18	8.077
12	57.162		1.547	1.547	5.059	1,20	8.152
13	60.020		1.547	1.547	5.135	1,21	8.228
14	63.021		1.547	1.547	5.212	1,23	8.305
15	66.172		1.547	1.547	5.290	1,25	8.383
Total	-		23.198	23.198	71.642	-	294.848

**Tabela 81** - Comparação dos custos totais em água potável e água residual tratada, para a Alternativa I, suportados pelo Parque Urbano.

ano	caudal m³/ano	Alternativa I			Água potável		
		tarifa (0,17 €/m³)	drenagem (0,4)	Total -	tarifa (0,67 €/m³)	drenagem (0,4)	Total -
		€/ano		€/ano	€/ano		€/ano
0	-	-	-	-	-	-	-
1	33.422	5.682	2.273	7.954	22.392	8.957	31.349
2	35.093	5.966	2.386	8.352	23.512	9.405	32.917
3	36.847	6.264	2.506	8.770	24.688	9.875	34.563
4	38.690	6.577	2.631	9.208	25.922	10.369	36.291
5	40.624	6.906	2.762	9.669	27.218	10.887	38.105
6	42.655	7.251	2.901	10.152	28.579	11.432	40.011
7	44.788	7.614	3.046	10.660	30.008	12.003	42.011
8	47.027	7.995	3.198	11.193	31.508	12.603	44.112
9	49.379	8.394	3.358	11.752	33.084	13.234	46.317
10	51.848	8.814	3.526	12.340	34.738	13.895	48.633
11	54.440	9.255	3.702	12.957	36.475	14.590	51.065
12	57.162	9.718	3.887	13.605	38.299	15.319	53.618
13	60.020	10.203	4.081	14.285	40.214	16.085	56.299
14	63.021	10.714	4.285	14.999	42.224	16.890	59.114
15	66.172	11.249	4.500	15.749	44.335	17.734	62.070

**Tabela 82** - Estudo económico para a Alternativa II.

Ano	Caudal (m³/ano)	Inv. inicial (€/ano)	Custos Conservação (€/ano)	Custos Manutenção (€/ano)	Custos de energia (€/ano)	taxa de inflação (%)	Custos totais Actualizados (€/ano)
0	31.830	204.810	-	-	-	1,00	204.810
1	33.422		2.387	2.387	6.015	1,02	10.789
2	35.093		2.387	2.387	6.106	1,03	10.879
3	36.847		2.387	2.387	6.197	1,05	10.970
4	38.690		2.387	2.387	6.290	1,06	11.063
5	40.624		2.387	2.387	6.385	1,08	11.158
6	42.655		2.387	2.387	6.480	1,09	11.253
7	44.788		2.387	2.387	6.578	1,11	11.351
8	47.027		2.387	2.387	6.676	1,13	11.449
9	49.379		2.387	2.387	6.776	1,14	11.549
10	51.848		2.387	2.387	6.878	1,16	11.651
11	54.440		2.387	2.387	6.981	1,18	11.754
12	57.162		2.387	2.387	7.086	1,20	11.859
13	60.020		2.387	2.387	7.192	1,21	11.965
14	63.021		2.387	2.387	7.300	1,23	12.073
15	66.172		2.387	2.387	7.410	1,25	12.183
Total	-		35.798	35.798	100.351	-	376.757

**Tabela 83** - Comparação dos custos totais em água potável e água residual tratada, para a Alternativa II, suportados pelo Parque Urbano.

ano	caudal m <sup>3</sup> /ano	Alternativa II			Água Potável		
		Tarifa (0,30 €/m <sup>3</sup> ) €/ano	drenagem (0,4)	Total - €/ano	Tarifa (0,67 €/m <sup>3</sup> ) €/ano	drenagem (0,4)	Total - €/ano
0	-	-	-	-	-	-	-
1	33.422	10.026	4.011	14.037	22.392	8.957	31.349
2	35.093	10.528	4.211	14.739	23.512	9.405	32.917
3	36.847	11.054	4.422	15.476	24.688	9.875	34.563
4	38.690	11.607	4.643	16.250	25.922	10.369	36.291
5	40.624	12.187	4.875	17.062	27.218	10.887	38.105
6	42.655	12.797	5.119	17.915	28.579	11.432	40.011
7	44.788	13.436	5.375	18.811	30.008	12.003	42.011
8	47.027	14.108	5.643	19.752	31.508	12.603	44.112
9	49.379	14.814	5.925	20.739	33.084	13.234	46.317
10	51.848	15.554	6.222	21.776	34.738	13.895	48.633
11	54.440	16.332	6.533	22.865	36.475	14.590	51.065
12	57.162	17.149	6.859	24.008	38.299	15.319	53.618
13	60.020	18.006	7.202	25.208	40.214	16.085	56.299
14	63.021	18.906	7.563	26.469	42.224	16.890	59.114
15	66.172	19.852	7.941	27.792	44.335	17.734	62.070

**Tabela 84 – Dimensionamento processual caso a Alternativa I fosse implementada.**

BASES DE DIMENSIONAMENTO DO TRATAMENTO ADICIONAL NA ETAR DE ERMESINDE			
Parâmetro	Unidades	2009	2019
Caudal Médio	m3/d	44,21	183,8
Caudal de Ponta	m3/h	22,42	46,58
<b>LEGISLAÇÃO A CUMPRIR</b>		<b>Decreto-Lei 236/98</b>	
SST	mg/l	60	
Coliformes Fecais	(NMP/100mL)	200	
<b>Elevação para filtração</b>			
Nº de bombas		2 (+2)	
Altura manométrica total 1		38,19	
Altura manométrica total 2		34,88	
<b>Filtração</b>			
Grau de filtração	microns	50	
Superfície total de filtração	cm2	6260	
SST máxima	mg/L	60	
Caudal máximo de Filtração	m3/h	70	
Pressão de trabalho mínima	bar	1	
Pressão de trabalho máxima	bar	10	
Pressão de trabalho	bar	6	
Pressão mínima necessário para a operação de lavagem	bar	4	
<b>Desinfecção por U.V.</b>			
Coliformes fecais à entrada do processo de desinfecção	NMP/100 mL	2x10 <sup>7</sup>	2x10 <sup>7</sup>
Coliformes fecais à saída do processo de desinfecção	NMP/100 mL	200	200
SST máximo afluente à desinfecção	mg/L	15	15
Dose de UV-C aplicada ao reactor	mJ/cm2	60	
Nº de lâmpadas instadas no reactor		14	
Potência absorvida por lâmpada	W	200	
UV-C produzido por lâmpada	W	65	
<b>Dimensões do reactor</b>			
Comprimento total do reactor	mm	1815	
Diâmetro do reactor	mm	400	
Diâmetro de entrada (em linha)	mm	150	
Diâmetro de saída (lateral)	mm	150	
Comprimento de onda das lâmpadas	nm	254	
Transmissividade	%	55	
<b>Características Eléctricas</b>			
Consumo eléctrico nas lâmpadas	kW	2,8	
Consumo eléctrico Total	kW	3,7	

## **ANEXO E**

# **CARACTERIZAÇÃO E ORÇAMENTAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS PROPOSTOS**

## EQUIPAMENTO DE FILTRAÇÃO PROPOSTO



### “FILTROMATIC”

As malhas disponíveis são as seguintes: **25 µm, 50 µm, 100 µm, 130 µm e 200 µm**. Por esse motivo, vimos por este meio apresentar proposta para 2 soluções:

#### SOLUÇÃO 1:

**Malha de 50 µm**

### **Filtro automático tipo “Giradisc” com Auto-Limpeza Modelo 2DP4-GF50**

#### **1) - CONDIÇÕES DE TRABALHO NO LOCAL:**

- Fluido a filtrar:	Efluente tratado
- Caudal de água máximo:	50 m <sup>3</sup> /h
- Caudal solicitado:	<b>46 m<sup>3</sup>/h</b>
- Pressão de trabalho:	<b>6 bar</b>
- Teor de sólidos:	<b>60 miligr/lit (máx.)</b>
- Temperatura prevista:	ambiente
- Grau de filtração:	<b>50 microns</b>

Propomos a utilização de **1** sistema automático de filtração modelo **2DP4-GF50 de 2”**, constituído por:

#### **DESCRIÇÃO:**

##### **4 Filtros automáticos e autolimpantes de anéis modelo GIRADISC de 2”**

- 4 Válvulas hidráulicas de 2” para contra-lavagem
- 1 Programador de controlo de limpeza dos filtros de 220V/AC com manutenção da memória em caso de falha de corrente
- 1 Pressostato electrónico de pressão diferencial
- Electroválvulas de 0-10bar N.F.de 1 /8” – 24V/AC
- 2 Manómetros em aço inox de 0-10 bar em aço inox
- Colectores de ligação dos filtros de entrada, saída e drenagem construídos em Aço Carbono com pintura Epoxy Polyester no exterior e interior
- Estrutura de suporte Aço Carbono, decapado e com pintura electrostática Epoxy Polyester



### ESPECIFICAÇÕES DE FUNCIONAMENTO:

- Grau de filtração: **50 microns**
- Superfície de filtração total: equivalente a **6260 cm<sup>2</sup>**
- Pressão de trabalho mínima: 1 bar
- Pressão de trabalho máxima: 10 bar
- **Pressão de mínima** necessária para a operação de lavagem: **4 bar (no mínimo)**
- Perda de carga com o filtro limpo: 0,1 bar
- Temperatura máxima de operação: 70°C
- Tempo de limpeza: 1 a 1,5 minutos
- Activação de lavagem: por programador sequencial
- Activação de lavagem: por pressão diferencial, por tempo ou manual
- Peso estimado: 125 Kg aprox.

### MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO DOS FILTROS:

- Corpo e tampa em Poliamida **Reforçada a Fibra de Vidro de Alta Resistência**
- Núcleo suporte dos anéis em **Poliamida Reforçada a Fibra de Vidro de Alta Resistência**
- Mola de deslocamento do pistão: **Aço Inox**
- Anéis: **Polipropileno**
- Fixação da tampa dos filtros: abraçadeira reforçada em **aço inox**
- Ligações de entrada e saída dos corpos filtrantes de 2" para acoplamento tipo Victáulic (abraçadeira de dupla ranhura)
- Juntas: **Nitrilo**
- Colectores de entrada e saída flangeados de 5" (**DN 125**) em Aço Carbono, decapado e com pintura electrostática cor Azul em **Epoxy Polyester**. Colector de drenagem de 2 1/2" (**DN 65**)

**Preço Unitário Líquido n/ armazém: 4.430,00 € + IVA**

## **Determinação do azoto amoniacal**

### **1. Princípio do Método**

A amostra é tamponada a pH 9,5 por adição de um tampão de borato para diminuir a hidrólise dos cianetos e dos compostos orgânicos azotados. Posteriormente é destilada para uma solução de ácido bórico. A amónia no destilado é determinada por titulação com ácido sulfúrico na presença de um indicador específico.

### **2. Equipamento**

**2.1.** Material de vidro para destilação (balão de 1000 ml, condensador, curva de ligação, curva de recolha de destilado)

**2.2.** Placa de aquecimento

**2.3.** Matraz de 300 ml

**2.4.** Bureta e suporte de bureta

**2.5.** Provetas

**2.6.** Medidor de pH

### **3. Reagentes**

#### **3.1. Solução de NaOH 1 N**

Pesar 40 g de NaOH (hidróxido de sódio) e dissolver em cerca de 800 ml de água destilada. Deixar arrefecer. Levar a balão volumétrico de 1 000 ml e perfazer o volume. Armazenar em frasco de plástico com rolha do mesmo material.

#### **3.2. Solução de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 N**

Medir com uma proveta 28 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (ácido sulfúrico) concentrado. Adicionar o volume medido a um balão de 1 000 ml contendo cerca de 500 ml de água destilada. Misturar bem e juntar água destilada até próximo dos 1 000 ml. Misturar novamente. Deixar arrefecer e completar o volume de 1 000 ml. Armazenar em frasco de vidro.

#### **3.3. Solução de NaOH 0,1 N**

Medir com uma proveta 100 ml da solução de NaOH 1N. Adicionar o volume medido a um balão de 1 000 ml contendo 500 ml de água destilada. Misturar bem e juntar água destilada até próximo dos 1 000 ml. Misturar novamente e completar o volume de 1 000 ml. Armazenar em frasco de plástico com rolha do mesmo material.

### 3.4. Solução de NaOH 6 N

Pesar 240 g de NaOH (hidróxido de sódio) e dissolver em cerca de 800 ml de água destilada. Deixar arrefecer. Levar a balão volumétrico de 1 000 ml e perfazer o volume. Armazenar em frasco de plástico com rolha do mesmo material.

### 3.5. Solução Indicadora de Fenolftaleína

Pesar 5 g de fenolftaleína e dissolver em 500 ml de etanol. Levar a balão volumétrico de 1 000 ml e perfazer o volume com água destilada.

### 3.6. Solução de Tetraborato de Sódio 0,025 M

Pesar 9,5 g de  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  (tetraborato de sódio decahidratado). Dissolver em água destilada. Levar a balão volumétrico de 1 000 ml e perfazer o volume.

### 3.7. Solução Tampão de Borato

Adicionar 88 ml de solução de NaOH 0,1 N a 500 ml de solução de tetraborato de sódio 0,025 M completar o volume até 1 000 ml com água destilada.

### 3.8. Solução Indicadora Mista

Pesar 200 mg de vermelho de metil e dissolver em 100 ml de etanol. Pesar 100 mg de azul de metileno e dissolver em 50 ml de etanol. Misturar as duas soluções. Preparar mensalmente.

### 3.10. Solução Indicadora de Ácido Bórico

Pesar 20 g de  $\text{H}_3\text{BO}_3$  (ácido bórico) e dissolver em água destilada. Adicionar 10 ml de solução indicadora mista. Levar a balão volumétrico de 1 000 ml e perfazer o volume.

### 3.11. Solução de Carbonato de sódio, aproximadamente 0,05N

Secar 3 a 5 g de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  a 250°C durante 4 horas e arrefecer no excicador. Pesar  $2,5 \pm 0,2$  g e diluir a 1000 ml num balão volumétrico. Não guardar mais de 1 semana.

### 3.12. Solução Titulante de $\text{H}_2\text{SO}_4$ 0,02 N

Medir com uma pipeta 20 ml da solução de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1N. Adicionar o volume medido a um balão de 1 000 ml contendo 500 ml de água destilada. Misturar bem e juntar água destilada até próximo dos 1 000 ml. Misturar novamente e completar o volume de 1000 ml.

### **Padronização do $\text{H}_2\text{SO}_4$ 0,02 N**

Diluir 15,00 ml de carbonato de sódio,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  0,05 N a 100 ml de água num matraz. Titular com o  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,02N até pH 5. Retirar o eléctrodo, tapar o matraz com um vidro de relógio e ferver de forma não turbulenta durante 3

a 5 minutos. Arrefecer à temperatura ambiente, retirar o vidro de relógio e continuar a titular até ao ponto de inflexão de pH.

A normalidade do ácido sulfúrico  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,02N é assim obtida através da seguinte equação:

$$\text{Normalidade (N)} = \frac{A \times B}{53 \times C}$$

Em que:

A – g  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  pesadas para o balão volumétrico

B – ml  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  usados na titulação

C – ml de ácido sulfúrico usado

## 4. Procedimento

### 4.1. Preparação da amostra

Utilizar 500 ml da amostra ou uma porção conhecida diluída a 500 ml com água destilada (Tabela 1). Quando a concentração de  $\text{N-NH}_3$  é menor que 100  $\mu\text{g/l}$ , utilizar um volume de amostra igual a 1 000 ml. Se necessário neutralizar a amostra a pH 7 com as soluções de NaOH 1N ou  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1N e a ajuda de um medidor de pH.

Colocar a amostra num balão de destilação e adicionar 25 ml de solução tampão de borato e 3 gotas da solução de fenolftaleína. Adicionar a solução de NaOH 6N até que a amostra fique com uma cor rosa fixa. Ao fazer a mistura não provocar muita turbulência para evitar a libertação de  $\text{NH}_3$  gasoso. Colocar algumas esferas de vidro no balão.

### 4.2. Destilação

O material a utilizar na destilação deve estar muito bem lavado para evitar contaminações.

Montar o equipamento de destilação antes de iniciar a preparação da amostra.

Num matraz de 300 ml colocar 50 ml de solução indicadora de ácido bórico para receber o destilado.

Destilar a uma velocidade de 6 a 10 ml/min com a ponta da curva de recolha de destilado mergulhada na solução indicadora de ácido bórico. Após recolha de pelo menos 200 ml de destilado, descer o matraz para que a curva de recolha de destilado deixe de estar em contacto com o destilado recolhido, de modo a limpar o condensador e a curva de recolha.

### 4.3. Titulação

Titular a amónia presente no destilado com solução de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,02N até que o indicador apresente uma cor de lavanda suave.

## EQUIPAMENTO DE DESINFECÇÃO POR UV PROPOSTO – ALTERNATIVA I

TEL DIRECTO: + 351 21 361 0894

E mail: [lanca.marques@orey.com](mailto:lanca.marques@orey.com)



*Orey - Técnica Naval e Industrial, Ld*

Fax No :	Data/Date: 15.06.2009	Nº. Pgs: 4
Para/To :	<b>ETAS</b>	
Attn.:	<b>Engº João Pinto</b>	
De/From :	<b>J Lança Marques</b>	Nº / Our refª: PE 2505
Ass./Subj. :	<b>Recuperação de efluente terciário para rega</b>	

Prezado Engenheiro

Temos presente a vossa consulta e posteriores esclarecimentos ao qual respondemos como segue:

### 1- Desinfecção por UV

#### 1.1- Caracterização do efluente

Caracterizámos o efluente a desinfectar como segue:

Caudal	46,6 m³/h
SS	≤ 15 ppm
Transmitância	(65 -7) 55 %
CF	
Antes da desinfecção	2 x 10 <sup>7</sup> /100 ml
Após a desinfecção	200 / 100 ml em 90 % dos casos

- O facto de filtrar o efluente vai seguramente remover alguns CF que estão “agarrados” aos sólidos retidos
- Em face destas duas acções sinérgicas consideramos que deverá haver no mínimo a remoção de 1 log de CF (1000 CF/100 ml)

- De acordo com a nossa metodologia de cálculo a dose a aplicar deverá ser  $\geq 50$  ppm

Assim propomos:

Um reactor com lâmpadas de baixa pressão caracterizados como segue:

Reactor tipo	Degremont SLP 400- 150 - 14
Caudal de calculo	46,6 m <sup>3</sup> /h
Transmitancia de calculo	55 %
Pressão de serviço	até 10 Bar
Numero de lâmpadas instaladas no reactor	14
Potência absorvida por lâmpada	200 W
UV-C produzido por lâmpada	65 W
Potencia absorvida pelo reactor	2 800 W

Dose de UV-C aplicada pelo reactor	60 mJ/cm <sup>2</sup>
------------------------------------	-----------------------

Principais dimensões do reactor:

Diâmetro do reactor	400 mm
Diâmetro da entrada (em linha)	DN 150
Diâmetro da saída (lateral)	DN 150
Comprimento total do reactor	1 815 mm

Acessórios incluídos.

Quadro eléctrico de comando e protecção com comando por microprocessador e display digital.

Sensor / Indicador da intensidade UV calibrado

Sistema de limpeza automático motorizado

**Preço do reactor como descrito posto no**

<b>local da Obra sem montagem</b>	<b>21 919,00 € (+IVA)</b>
-----------------------------------	---------------------------

---

**Morada / Address: Polígono Industrial Lezíria Park • Armazém 2 • E.N. 10  
2625 – 445 Forte da Casa • PORTUGAL**

**Tel: ++ 351-21-361 0890 • Fax: ++ 351-21-364 0144 • E mail: orex-tecnica@orex.com**

**Sociedade por Quotas - Capital Social 350 000,00 €**

**Matriculada na C.R.C. de Lisboa sob o nº 893 • NIPC-VAT 501 117 334**

## EQUIPAMENTO DE DESINFECÇÃO POR OZONO PROPOSTO – ALTERNATIVA II

TEL DIRECTO: + 351 21 361 0894  
E mail: [lanca.marques@orey.com](mailto:lanca.marques@orey.com)



*Orey - Técnica Naval e Industrial, Ld*

Fax No :	Data/Date:18.06.2009	Nº. Pgs: 3
Para/To :	<b>ETAS</b>	
Attn.:	<b>Eng João Pinto</b>	
De/From :	<b>J Lança Marques</b>	Nº / Our refª: PE 2505_Alternativa
Ass./Subj. :	<b>Ozonização de efluente tratado – Água de rega</b>	

Prezado Engenheiro

Na sequencia do seu pedido damos alguns esclarecimentos sobre uma instalação de ozonização para desinfectar o efluente que refere

- 1- Será necessário criar uma câmara fechada com um tempo de retenção entre 5 e 8 minutos e altura líquida de 5 metros para câmara de contacto
- 2- Será necessário instalar um destruidor de ozono na saída da câmara para “destruir” o ozono que não reagiu e que não pode ser directamente enviado para a atmosfera.

Poderá ser projectado um sistema auxiliar que aspire os gases da câmara de contacto e os dissolva por exemplo no tanque de arejamento da ETAR

- 3- Para atingir os 200 CF/100 ml necessitamos aplicar as seguintes doses:

Sobre efluente secundário	12 a 15 ppm O <sub>3</sub> /m <sup>3</sup>
Sobre efluente filtrado	7 a 10 ppm O <sub>3</sub> /m <sup>3</sup>

Assim a nossa proposta/estimativa para a desinfecção deste efluente consta de:

- Armazenagem e condicionamento do oxigénio

O ozonizador deverá receber oxigénio gasoso, filtrado a 0,1 microns e a uma pressão de 2,5 a 3 Bar.

Normalmente esta parte é instalada pela empresa fornecedora do oxigénio

- Adição de azoto

As instalações de ozonização devem usar oxigénio com um pouco de azoto para garantir um funcionamento mais estável e um melhor rendimento

Nas pequenas instalações prefere-se algumas vezes omitir a adição de azoto e fazer funcionar os ozonizadores com menor rendimento

Em última análise será uma análise de custos que levará a decidir ou não da instalação de adição de azoto.

- Ozonizador

As necessidades de ozono serão  $46,6 \text{ m}^3/\text{h} \times 10 \text{ mgO}_2/\text{L} = 466 \text{ g/h}$

Normalmente aceita-se uma redução  
no rendimento de até 20 % para

compensar tubos fora de serviço  $466 / 0,80 = 582,3 \text{ g/h}$

Precisamos portanto um ozonizador com capacidade de produzir:

$582,3 \text{ g/h}$  se o ozonizador for alimentado por  $\text{O}_2$  e azoto (rendimento de 10 -12%)

Pelo que a solução proposta, é a seguinte:

- Ozonizador OZONIA CFS -14 funcionando com oxigénio aditivado com azoto  
e com as seguintes características básicas:

produção nominal a 10 %	581,9 g $\text{O}_3/\text{h}$
consumo de oxigénio	4,08 $\text{Nm}^3/\text{h}$
Água de refrigeração	0,88 $\text{m}^3/\text{h}$
Consumo	8,55 $\text{kW/h}$
Outras características	vide folheto técnico

<b>Preço do ozonizador</b>	<b>33 340,00 €</b>
----------------------------	--------------------

- Sistema de injeção do ozono constituído por:

Difusores cerâmicos OZONIA KTL  
Rampa em aço inox  
Válvula de retenção e seccionamento

<b>Preço do conjunto</b>	<b>1 580,00 €</b>
--------------------------	-------------------



- Destruidor de ozono residual do tipo catalítico, OZONIA IK 15 incluindo:

Ventilador /aspirador

Pote com catalisador

Quadro eléctrico

**Preço do conjunto**

**14 955,00 €**

Outra hipótese bastante comum é montar um sistema aspirador e que depois dissolva os gases aspirados no tanque de arejamento da ETAR

- Para além do equipamento indicado será necessário instalar algum equipamento complementar como seja:

- condutas de interligação em aço inox

- detector de fugas de ozono

- quadro eléctrico auxiliar para gerir os periféricos ao ozonizador

- válvula de protecção contra a pressão /depressão na câmara de contacto.

#### CONDIÇÕES COMERCIAIS

Preços:

Os preços indicados referem-se ao equipamento descrito sem montagem

Prazo de entrega: 10 a 12 semanas

Esperando que a presente proposta seja clara e satisfaça o requerido apresento os nossos cumprimentos

Atentamente

J Lança Marques

---

**Morada / Address: Polígono Industrial Lezíria Park • Armazém 2 • E.N. 10**

**2625 – 445 Forte da Casa • PORTUGAL**

**Tel: ++ 351-21-361 0890 • Fax: ++ 351-21-364 0144 • E mail: orey-tecnica@orey.com**

**Sociedade por Quotas - Capital Social 350 000,00 €**

**Matriculada na C.R.C. de Lisboa sob o nº 893 • NIPC-VAT 501 117 334**



# **ANEXO F**

## **RESULTADOS OBTIDOS NO ESTUDO DE CASO DA ETAR DE CAMPO**

## **Etapas do Tratamento que serão implementadas na ETAR**

### **Descrição do Processo de Tratamento da Fase Líquida**

**Admissão dos Efluentes:** As águas residuais chegam à câmara de chegada por duas vias. Uma por via gravítica (PVC DN 600) e outra a partir de uma conduta elevatória.

**Estação Elevatória Geral:** O efluente que chega (PVC DN600) mistura-se numa antecâmara antes da estação elevatória com as escorrências (PVC DN200) seguindo posteriormente por canal. O efluente é sujeito a uma gradagem grossa seguindo posteriormente para o poço de bombagem.

A elevação do efluente é realizada por bombagem (2+1) grupos elevatórios, saindo por uma conduta elevatória. A altura de elevação desta estação de elevatória permitirá a partir desta o seu escoamento gravítico ao longo de todos os órgãos que compõem a fase líquida da ETAR evitando-se, dessa forma, a necessidade de uma elevação adicional a montante do tratamento biológico.

**Câmara de Chegada:** Com vista a reduzir a energia hidráulica dos efluentes admitidos, será prevista uma câmara de chegada cuja função é alimentar a primeira etapa de tratamento, com caudais mais uniformes.

**Gradagem:** A água residual passa pela etapa da gradagem que é constituída por dois canais de gradagem grossa e fina e um de *by-pass* apenas com gradagem grossa.

O canal de gradagem é limitado por duas comportas à entrada, tem uma gradagem grossa, com abertura entre barra de 25 mm, de limpeza manual. A jusante do canal de gradagem será instalado um sistema constituído por unidades de gradagem fina, com abertura entre barras de 5 mm, de limpeza mecânica.

Para garantir que no tratamento preliminar não é removida carga orgânica em excesso, será considerado um equipamento acessório para a lavagem automática dos gradados recolhidos. As escorrências derivadas da compactação e lavagens dos gradados serão conduzidas graviticamente de volta para o canal de gradagem.

**Medição de Caudal:** À saída da gradagem, as águas residuais serão encaminhadas para um canal de ligação ao desarenador/desengordurador onde se localiza um canal com medidor de caudal do tipo *Parshall*. O caudal medido nesta unidade é registado e totalizado com recurso a uma medição de nível por ultra sons.

**Desarenamento-Desengorduramento:** Após a gradagem, os efluentes serão submetidos a uma etapa de desarenamento/desengorduramento realizada com duas unidades combinadas longitudinais, equipadas com turbinas de difusão de ar e de uma ponte equipada com sistema de bombagem para as areias depositadas e com sistema de raspagem para os óleos e gorduras afluentes à superfície do órgão. Na zona mais a jusante dos órgãos, o efluente sairá por um deflector, passando seguidamente por um descarregador de altura ajustável.

Cada unidade agrupa num mesmo conjunto o desarenamento, com recuperação das areias no fundo do tanque e extracção automática para uma caleira situada entre os órgãos e uma fossa de recolha situada na extremidade das unidades; as areias extraídas são bombeadas para um separador/hidrociclone, onde são lavadas. As areias

removidas serão conduzidas com vista á reutilização em fins compatíveis. As águas de lavagem das areias serão conduzidas até à estação elevatória de efluente bruto. Esta unidade também agrupa o desengorduramento, com flotação das gorduras e raspagem mecânica à superfície, para remoção dos sobrenadantes. A difusão do ar é produzida por meio de turbinas semi-imersas cuja função consiste em provocar uma flotação, com o consequente arrastamento das gorduras em direcção a superfície, sendo posteriormente conduzidos graviticamente para um poço de bombagem a partir dos quais será feita a alimentação ao tanque de gorduras. As gorduras são posteriormente introduzidas no Digestor Anaeróbio.

**Decantação Primária:** Na decantação primária faz-se a remoção das partículas sólidas sedimentáveis existente na água residual. Neste caso serão mantidos em funcionamento os decantadores circulares actualmente existentes.

### **Tratamento biológico**

As elevadas cargas poluentes e os parâmetros de descarga exigidos para a poluição carbonácea e azotada requerem a utilização de um processo de tratamento biológico funcionando em baixa carga, no regime de arejamento prolongado. Neste processo os compostos orgânicos e azotados, são eliminados por uma linha de tratamento com base em reactores biológicos.

De forma a criar mecanismos que permitam a absorção de substratos e nutrientes por parte de bactérias não-filamentosas (floculantes), será efectuado um tanque de contacto (selector), onde uma fracção controlável das lamas em recirculação será colocada em contacto com a totalidade das águas residuais afluentes. Este tanque será concebido como um reactor de fluxo pistão no qual, ir-se-á proceder à colocação de septos, os quais permitirão realizar a compartimentalização do tanque.

Tendo em vista a prevenção do desenvolvimento de microrganismos tipo Nocardia, o tanque de contacto não disporá de um sistema de arejamento, funcionando em condições anóxicas, prevendo-se, desta forma, unicamente a instalação de agitadores submersíveis para manutenção da biomassa em suspensão.

Assim sendo, por cada linha de tratamento, será previsto um reactor de fluxo pistão, constituído por três compartimentos em série providos, cada um deles, com um agitador submersível.

**Reactores Biológicos:** O tratamento biológico das águas residuais afluentes à ETAR de Campo será realizado segundo um sistema de lamas activadas, em dois reactores biológicos, cada um com um sistema de difusão de bolha fina e operados em regime de arejamento prolongado, permitindo desta forma a eficiente depuração das águas residuais afluentes, a ocorrência separada do processo de nitrificação/desnitrificação, para remoção dos compostos azotados das águas residuais, a eficiente amortização de eventuais pontas hidráulicas e poluentes e a estabilização simultânea das lamas nos próprios órgãos. Preconiza-se a construção de dois reactores biológicos com um volume total unitário de 13260m<sup>3</sup>.

O efluente dos reactores biológicos segue por canal para a respectiva caixa de repartição, a partir da qual o efluente será encaminhado para os decantadores secundários.

**Decantador Secundário:** Para a clarificação do efluente proveniente dos reactores biológicos serão projectados seis decantadores secundários rectangulares, dois por cada linha de arejamento.

Os decantadores serão providos de uma corrente raspadora de fundo e de superfície, de funcionamento contínuo, as lamas serão descarregadas e armazenadas numa tremonha situada na extremidade de montante da unidade, alimentando, em seguida, os circuitos hidráulicos de recirculação e de extracção de lamas e os sobrenadantes serão extraídos por raspagem de superfície.

**Recirculação de Lamas:** As tremonhas de cada decantador secundário encontram-se directamente ligadas por quatro pontos de aspiração às bombas de recirculação de lamas por válvulas manga. As lamas serão elevadas em contínuo para os selectores e zona anóxica dos reactores biológicos da respectiva linha de tratamento biológico de forma a disponibilizar a CQO mais facilmente biodegradável à população desnitrificante das lamas activadas.

**Produção de Lamas em Excesso:** As lamas em excesso serão extraídas directamente da tubagem de recirculação de lamas do decantador secundário seguindo para um tanque de lamas biológicas em excesso. A fim de manter uma concentração uniforme de lamas no reactor biológico será necessário prever um circuito de recirculação de lamas biológicas decantadas, no decantador secundário, para a entrada do reactor biológico.

**Desinfecção Bacteriológica:** Após a decantação secundária, uma parte dos efluentes serão submetidos a uma desinfecção por radiação U.V., para remoção da contaminação bacteriológica. Prevê-se a possibilidade de *by-pass* à etapa para desinfecção, muito embora se imponha a obrigatoriedade desta operação para os efluentes reaproveitados, para água de serviço.

#### **Descrição do Processo de Tratamento da Fase sólida**

O sistema de tratamento integrado na linha de lamas incluirá, para além do espessamento gravítico e calagem de lamas primárias, já existente, o seguinte conjunto de instalações:

- Espessamento de lamas biológicas por centrifugação;
- Digestão anaeróbia de lamas mistas com produção e aproveitamento de biogás;
- Desidratação de lamas mistas.
- Calagem das lamas desidratadas.

**Espessamento Gravítico:** As lamas primárias produzidas serão espessadas nos dois espessadores gravíticos actualmente em funcionamento na ETAR. As lamas espessadas serão extraídas por meio de bombas

volumétricas e enviadas para o tanque de lamas mistas onde, anteriormente à digestão, serão misturadas com as lamas biológicas.

**Espessamento por Centrifugação:** O espessamento das lamas biológicas será mecânico, por centrifugação. O caudal de lamas na alimentação da linha de espessamento será, dentro de determinados limites, definido em função do caudal de lamas biológicas em excesso. À saída das centrífugas, as lamas espessadas são bombadas directamente através de uma bomba volumétrica e transportadas ao tanque de mistura de lamas mistas espessadas.

**Tanque de Lamas Mistas:** De modo a assegurar o bom funcionamento do processo de digestão de lamas mistas, as lamas primárias espessadas graviticamente e as lamas biológicas espessadas por centrifugação são enviadas para um tanque de mistura.

**Estabilização por Digestão Anaeróbia:** As lamas mistas espessadas são introduzidas no digestor onde se processa a estabilização das lamas em meio anaeróbio e à temperatura de 35°C. Para o armazenamento do biogás produzido, seleccionou-se um gasómetro com um volume total de 3.000 m<sup>3</sup>.

**Tanque de Armazenamento de Lamas Digeridas:** As lamas digeridas são extraídas pelo fundo do digestor. E seguidamente transportadas para um tanque de lamas digeridas (10,0 × 5) com 4,0 m de altura.

**Desidratação Mecânica das Lamas:** A desidratação será efectuada por centrifugação. Prevê-se a instalação de medidores de caudal electromagnéticos nos circuitos de alimentação de cada centrífuga, assim como medidores de concentração de sólidos com instalação em tubagem, para a monitorização em contínuo do caudal mássico alimentado à linha de desidratação. As águas das lavagens feitas às centrífugas serão encaminhadas para o circuito de escorrências com ligação à estação elevatória inicial.

De modo semelhante ao processo de espessamento centrífugo das lamas biológicas, a desidratação das lamas digeridas recorrerá a uma instalação de preparação de polímero.

**Preparação e Doseamento de Polielectrólito para o Espessamento e Desidratação:** O sistema de preparação de polímero a instalar na ETAR terá assim uma capacidade volumétrica de 2,1 m<sup>3</sup>, que se considera suficiente para satisfazer em simultâneo as necessidades de espessamento e de desidratação.

**Calagem das Lamas:** As lamas desidratadas na centrífuga são descarregadas num transportador que as transporta até um misturador cal-lamas. Neste órgão as lamas são estabilizadas através da adição de cal viva (CaO). O doseamento da cal será efectuada a partir de um silo existente com uma capacidade útil de 30 m<sup>3</sup>.

**Armazenamento e Evacuação das Lamas:** Relativamente à evacuação das lamas, após tratamento, está previsto, o armazenamento directo das lamas num silo de lamas com 160 m<sup>3</sup> de capacidade. O nível de lamas nos silos de armazenamento de lamas será medido em contínuo através de um medidor de nível do tipo radar.

**Reutilização do Efluente Tratado:** Será criado um reservatório para armazenamento de água para reutilização que servirá essencialmente para lavagens e para rega. Assim, após a desinfecção biológica, uma parcela da água tratada será reutilizada para usos compatíveis (água de serviço), como por exemplo, água para a lavagem das centrífugas, diluição das soluções de polímero, rega dos espaços verdes, água para a lavagem de pavimentos e equipamentos, entre outros. A autonomia do tanque de água de serviço será de cerca de 2 horas ao caudal máximo das necessidades de água de serviço. A jusante deste tanque prevê-se a instalação de filtro auto limpante com malha de 2  $\mu\text{m}$ .

Será ainda prevista a possibilidade de utilização de água da rede de abastecimento como água de serviço, como alternativa ao efluente tratado, apenas durante os períodos em que se verifique uma deterioração da qualidade do efluente final ou algum problema com o sistema de desinfecção.

### **Descrição do Processo de Tratamento da Fase Gasosa**

**Linha de Desodorização:** A desodorização será realizada por um sistema de lavagem química sequencial em duas etapas, sendo a primeira ácida e a segunda oxidante, com capacidade instalada para tratar 30.000  $\text{Nm}^3/\text{h}$  de ar contaminado, com as seguintes proveniências:

- Gadagem – 2.300  $\text{Nm}^3/\text{h}$
- Desarenamento /desengorduramento – 9.000  $\text{Nm}^3/\text{h}$ ;
- Decantação primária – 4.000  $\text{Nm}^3/\text{h}$ ;
- Tanques de lamas – 2.000  $\text{Nm}^3/\text{h}$ ;
- Espessadores gravíticos – 8.000  $\text{Nm}^3/\text{h}$ ;
- Espessamento mecânico e desidratação de lamas – 4.000  $\text{Nm}^3/\text{h}$ ;
- Silo de lamas desidratadas – 500  $\text{Nm}^3/\text{h}$ ;
- Estação elevatória de escorrências – 200  $\text{Nm}^3/\text{h}$ .



**Tabela 85 – Afluência anual de veículos que frequentou centro na lavagem, Elefante Azul.**

	Mês de maior afluência	Meses de maior afluência	Mês de menor afluência	Meses de menor afluência	Afluência anual
Taxa de aumento	1,25%/mês	-	1,25%/mês	-	-
ano	veículos/mes	veículos/6 meses	veículos/mes	veículos/6 meses	veículos/ano
0	4928	29568	1579	9474	39042
1	4990	29938	1599	9592	39530
2	5115	30691	1639	9834	40524
3	5309	31856	1701	10207	42063
4	5580	33479	1788	10727	44206
5	5937	35624	1902	11415	47039
6	6397	38381	2050	12298	50679
7	6978	41868	2236	13415	55283
8	7707	46243	2469	14817	61059
9	8619	51713	2762	16570	68282
10	9759	58553	3127	18761	77314

**Tabela 86 - Consumo de água anual para os 3 cenários em estudo.**

		1 cenário (0,06 m³/veículo)	2 cenário (0,12 m³/veículo)	3 cenário (0,18 m³/veículo)
ano	veículos/ano	m³/ano	m³/ano	m³/ano
0	39042	2343	4685	7028
1	39530	2372	4744	7115
2	40524	2431	4863	7294
3	42063	2524	5048	7571
4	44206	2652	5305	7957
5	47039	2822	5645	8467
6	50679	3041	6081	9122
7	55283	3317	6634	9951
8	61059	3664	7327	10991
9	68282	4097	8194	12291
10	77314	4639	9278	13917

**Tabela 87** - Estudo económico para a implementação de um centro de lavagem de veículos na religião de Campo.

ano	Inv. Inicial (€)	Custos de Conservação (€/ano)	Custos de Manutenção (€/ano)	Custos de Arrendar (€/ano)	Custos de funcionários (€/ano)	taxa de inflação (%)	Custos finais Actualizados (€/ano)
0	378.325	-	-	-	-	1,00	378.325
1		8.267	8.267	15.225	14.616	1,02	46.374
2		8.267	8.267	15.453	14.835	1,03	46.822
3		8.267	8.267	15.685	15.058	1,05	47.276
4		8.267	8.267	15.920	15.284	1,06	47.737
5		8.267	8.267	16.159	15.513	1,08	48.205
6		8.267	8.267	16.402	15.746	1,09	48.680
7		8.267	8.267	16.648	15.982	1,11	49.163
8		8.267	8.267	16.897	16.221	1,13	49.652
9		8.267	8.267	17.151	16.465	1,14	50.149
10		8.267	8.267	17.408	16.712	1,16	50.653
<b>Total</b>		82.666	82.666	162.948	156.430	-	863.037

**Tabela 88** - Evolução do cash-flow durante a vida útil do projecto para o cenário 1.

ano	Custos de Conservação (€/ano)	Custos de Manutenção (€/ano)	Custos de Arrendar (€/ano)	Custos de Funcionários (€/ano)	compra da lavagem (€/ano)	Cash flow (€/ano)
0	-	-	-	-	-	-378.325
1	8.267	8.267	15.225	14616	39.530	-385.169
2	8.267	8.267	15.453	14835	40.524	-391.467
3	8.267	8.267	15.685	15058	42.063	-396.680
4	8.267	8.267	15.920	15284	44.206	-400.211
5	8.267	8.267	16.159	15513	47.039	-401.377
6	8.267	8.267	16.402	15746	50.679	-399.379
7	8.267	8.267	16.648	15982	55.283	-393.258
8	8.267	8.267	16.897	16221	61.059	-381.851
9	8.267	8.267	17.151	16465	68.282	-363.718
10	8.267	8.267	17.408	16712	77.314	-337.057

**Tabela 89** - Evolução do cash-flow durante a vida útil do projecto para o cenário 2.

ano	Custos de Conservação (€/ano)	Custos de Manutenção (€/ano)	Custos de Arrendar (€/ano)	Custos de Funcionários (€/ano)	compra da lavagem (€/ano)	Cash flow (€/ano)
0	-	-	-	-	-	-378.325
1	8.267	8.267	15.225	14616	79.060	-345.639
2	8.267	8.267	15.453	14835	81.049	-311.412
3	8.267	8.267	15.685	15058	84.126	-274.562
4	8.267	8.267	15.920	15284	88.412	-233.887
5	8.267	8.267	16.159	15513	94.078	-188.015
6	8.267	8.267	16.402	15746	101.358	-135.337
7	8.267	8.267	16.648	15982	110.566	-73.933
8	8.267	8.267	16.897	16221	122.119	-1.467
9	8.267	8.267	17.151	16465	136.565	84.949
10	8.267	8.267	17.408	16712	154.628	188.924

**Tabela 90** – Evolução do cash-flow durante a vida útil do projecto para o cenário 3.

ano	Custos de Conservação (€/ano)	Custos de Manutenção (€/ano)	Custos de Arrendar (€/ano)	Custos de Funcionários (€/ano)	compra da lavagem (€/ano)	Cash flow (€/ano)
0	-	-	-	-	-	-378.325
1	8.267	8.267	15.225	14616	118.590	-306.109
2	8.267	8.267	15.453	14835	121.573	-231.358
3	8.267	8.267	15.685	15058	126.190	-152.444
4	8.267	8.267	15.920	15284	132.618	-67.563
5	8.267	8.267	16.159	15513	141.117	25.348
6	8.267	8.267	16.402	15746	152.037	128.705
7	8.267	8.267	16.648	15982	165.850	245.391
8	8.267	8.267	16.897	16221	183.178	378.918
9	8.267	8.267	17.151	16465	204.847	533.616
10	8.267	8.267	17.408	16712	231.942	714.905

